1482
Handexemplar
Armin Tschermak

THE INSTITUTE
OF
OPHTHALMOLOGY
LONDON
PRESENTED BY
SIR JOHN HERBERT PARSONS

Digitized by the Internet Archive
in 2014

https://archive.org/details/b21641420

ÜBER

KONTRAST UND IRRADIATION.

VON

A. TSCHERMAK.
HALLE.

SEPARAT-ABDRUCK AUS ERGEBNISSE DER PHYSIOLOGIE, II. JAHRGANG, II. ABTEILUNG,
HERAUSGEGEBEN VON L. ASHER IN BERN UND K. SPIRO IN STRASSBURG I. E.

WIESBADEN.
VERLAG VON J. F. BERGMANN.
1903.

Verlag von J. F. Bergmann, Wiesbaden.

Ergebnisse der Physiologie.

Erster Jahrgang, I. Abteilung.

Biochemie.

Bearbeitet von

Ferdinand Blumenthal (Berlin), G. Bredig (Heidelberg), M. Cremer (München), Friedr. Czapek (Prag), Alexander Ellinger (Königsberg i. Pr.), E. Friedmann (Strassburg), Otto von Fürth (Strassburg), E. Fuld (Halle), Olof Hammarsten (Upsala), A. Heffter (Bern), F. Hofmeister (Strassburg), Martin Jacoby (Heidelberg), Leo Langstein (Wien), Immanuel Munk (Berlin), W. Pauli (Wien), J. P. Pawlow (St. Petersburg), G. Rosenfeld (Breslau), Fr. N. Schulz (Jena), E. Schulze (Zürich), K. Spiro (Strassburg), H. Vogt (Strassburg), Fritz Voit (München), Siegfried Weber (Strassburg), Hugo Wiener (Prag), E. Winterstein (Zürich),

herausgegeben von

L. Asher (Bern) und K. Spiro (Strassburg i. E.).

Preis M. 22.60.

Auszug aus dem Inhaltsverzeichnis.

I. **Allgemeine Physiko-Chemie der Zellen und Gewebe.** Von W. Pauli, Wien.

Ia. **Allgemeine Chemie der Eiweiss-Körper.** Von F. Hofmeister, Strassburg.

II. **Der Kreislauf des Schwefels in der organischen Natur.** Von E. Friedmann, Strassburg i/E.

III. **Über die bei der Spaltung der Eiweisssubstanzen entstehenden basischen Produkte.** Von E. Schulze und E. Winterstein, Zürich.

IV. **Die Bildung von Kohlehydraten aus Eiweiss.** Von Leo Langstein, Wien.

V. **Zur Gewebschemie des Muskels.** Von Otto von Fürth, Strassburg.

VI. **Die Elemente der chemischen Kinetik, mit besonderer Berücksichtigung der Kataylse und der Fermentwirkung.** Von G. Bredig, Heidelberg.

VII. **Über die Bedeutung der intracellularen Fermente für die Physiologie und Pathologie.** Von Martin Jacoby, Heidelberg.

VIII. **Die physiologische Chirurgie des Verdauungskanals.** Von J. P. Pawlow, St. Petersburg.

IX. **Über Cerebrospinalflüssigkeit.** Von Ferdinand Blumenthal, Berlin.

X. **Resorption.** Von Immanuel Munk, Berlin.

XI. **Über die Eiweissstoffe des Blutserums.** Von Olof Hammarsten, Upsala.

XII. **Die Bildung der Lymphe.** Von Alexander Ellinger, Königsberg i. Pr.

XIII. **Chemische Physiologie der Nierensekretion niederer Tiere.** Von Otto von Fürth, Strassburg.

XIV. **Physiologie der Harnabsonderung.** Von K. Spiro und H. Vogt, Strassburg.

XV. **Chemie des Harns.** Von A. Heffter, Bern.

XVI. **Über Milchgerinnung.** Von E. Fuld, Halle.

XVIa. **Kohlehydratstoffwechsel.** Von M. Cremer, München.

XVII. **Die physiologische Farbstoffbildung beim höheren Tiere.** Von Fr. N. Schulz, Jena.

XVIII. **Über die Harnstoffbildung im Organismus.** Von M. Jacoby, Heidelberg.

XIX. **Die Harnsäure.** Von Hugo Wiener, Prag.

XX. **Fettbildung.** Von G. Rosenfeld, Breslau.

XXI. **Nahrungsstoffe.** Von Fritz Voit, München.

XXII. **Über Hungerstoffwechsel.** Von Siegfried Weber, Strassburg.

XXIII. **Über einige bemerkenswerte Fortschritte auf dem Gebiete der Pflanzen-Biochemie im Jahre 1901.** Von Friedrich Czapek, Prag.

X.

Über Kontrast und Irradiation.

Von

A. Tschermak, Halle a. S.

I. Einleitung.

Manche Erscheinungen des Umgebungskontrastes oder Simultankontrastes d. h. des gegensätzlichen Einflusses gleichzeitiger optischer Eindrücke aufeinander sind wohl seit langem bekannt. So war die Bedeutung des Hintergrundes, der Zusammenstellung für die scheinbare Helligkeit und Farbe eines Eindruckes gewiss schon den feineren Naturbeobachtern, Malern und Kostümästhetikern des Altertums geläufig. Speziell war es die Farbigkeit der Schatten in der Landschaft, welche die Aufmerksamkeit der Laien und Forscher in hohem Masse beschäftigte und auf das Gebiet der sogenannten subjektiven Farben überhaupt lenkte. Demselben gehören auch gerade die besten Beobachtungen W. v. Goethes an, dessen Demonstrationsmethoden — beispielsweise die Methode des Schattenkontrastes bei doppelter Lichtquelle — zum teil heute noch fortleben. Doch galten bis in die neuere Zeit die auffallenderen Kontrasterscheinungen mehr oder weniger als Kuriositäten oder gelegentliche „Sinnestäuschungen [1])."

[1]) Gerade dieser Anschauung gegenüber hat bereits Goethe (60, § 1, 2, 180, p. XL) in klassischen Worten gesagt: „Diese Farben, welche wir billig oben ansetzen, weil sie dem Subjekt, weil sie dem Auge, teils völlig, teils grösstenteils zugehören, diese Farben, welche das Fundament der ganzen Lehre machen, wurden bisher als ausserwesentlich, zufällig, als Täuschung und Gebrechen betrachtet. — Wir haben sie physiologische genannt, weil sie dem gesunden Auge angehören, weil wir sie als die notwendigen Bedingungen des Sehens betrachten, auf dessen lebendiges Wechselwirken in sich selbst und nach aussen sie hindeuten. — Wir haben dasjenige, was man sonst Augentäuschungen zu nennen pflegte, als Tätigkeiten des gesunden und richtig wirkenden Auges gerettet." — Mach (111, p. 320) notiert folgende charakteristische Erzählung: „Noch kürzlich hat ein sehr angesehener Gelehrter sich über meine Experimente gewundert. „Wozu das! Das müssen doch nur Täuschungen sein!" — Diese Zeiten sind vorbei. Wir wissen, dass auch „Täuschungen" Tatsachen sind, und Gesetzen unterliegen."

1816492

L Brewster (1833, 13)

Erst Aubert, Mach und vor allem E. Hering haben gegenüber Helmholtz u. a. die von Rumford (1794), W. v. Goethe[1]), Grotthuss (1811), Brandes (1827), Tourtual (1830), Plateau (1834, 36) und Joh. Müller (1838) vorgeahnte Auffassung des Kontrastes als einer regelmässigen physiologischen Erscheinung, als einer Umgebungswirkung, als Ausdruck einer Wechselwirkung der Netzhautstellen begründet. Diese Erkenntnis hat zu sehr bedeutsamen Folgerungen geführt bezüglich der Schwarzempfindung und bezüglich der Paare gegensätzlicher, einander fordernder und kompensierender Farben, speziell der Urfarbenpaare Rot-Grün, Gelb-Blau.

Die Bezeichnung „Simultankontrast" und die Unterscheidung vom „Succedan- oder Successiv-Kontraste," dem negativen oder komplementären Nachbilde — also die begriffliche Trennung der wechselseitigen Beziehung gleichzeitiger und aufeinanderfolgender optischer Eindrücke — stammt von Chevreul, der in seinem langen Leben gerade dem Kontrastproblem eine jugendfrische Liebe bewahrt hat: seine bezüglichen Publikationen reichen von 1832 bis 1890! — Von Hering wurde die „simultane Lichtinduktion" als physiologische Folgeerscheinung des Simultankontrastes erkannt. — Jene gegensätzliche Seiten- oder Wechselwirkung zwischen den einzelnen Mosaikelementen scheint sich aber nicht auf das Sehorgan zu beschränken, sondern in gewisser Beziehung auch für andere als Mosaike funktionierende Sinnesorgane zu gelten.

Schon die Erkenntnis, dass der primäre Reizeffekt, die lokale Erregung eine sekundäre und zwar gegensätzliche Erregung in den Nachbarelementen hervorruft, verleiht den Kontrasterscheinungen hohes biologisches Interesse. In noch höherem Masse wird dasselbe jedoch durch die Einsicht beansprucht, dass die gegensätzliche Seitenwirkung eines erregten Elementes auf seine Nachbarn den störenden Effekt von deren gleichzeitiger Mitreizung beschränkt. Der Kontrast gewinnt somit die Bedeutung einer physiologischen Korrektur gegenüber der Unvollkommenheit der physikalischen Reizverteilung oder Bilderzeugung: er ermöglicht einen distinkten Endeffekt nach Einzelelementen bei diffusem Anfangseffekt nach Elementengruppen — sozusagen eine physiologische Stigmatik trotz dioptrischen Astigmatismus. Doch genüge hier diese durch Fig. 1 illustrierte Andeutung. — Es sei allerdings auch nicht verschwiegen, dass die

[1]) „Malt sich auf einem Teile der Netzhaut ein farbiges Bild, so findet sich der übrige Teil sogleich in einer Disposition die korrespondierenden Farben hervorzubringen" (50, § 33, 56). — Ebenso hat W. v. Goethe für die Nachbilder die Ermüdungs-Erholungstheorie P. Scherfers (1785) bereits als unzulänglich bezeichnet und die Idee einer automatischen Reaktion (Öffnungseffekt) nach Wegfall des Reizes, der bereits durch Adaptation wenigstens zum Teil zu einer Lebens- oder Zustandsbedingung geworden, vorausgeahnt. Er betrachtet die Nachbilder als den Ausdruck der Lebendigkeit des Auges, welches zu einer Art Opposition genötigt sei, die dem Extrem das Extrem entgegensetzt.

eben betonte hohe Bewertung des Kontrastes wohl nicht als allgemein angenommene Anschauung bezeichnet werden kann, zumal da E. v. Brücke und Helmholtz eine rein psychologische Theorie des Kontrastes vertreten haben.

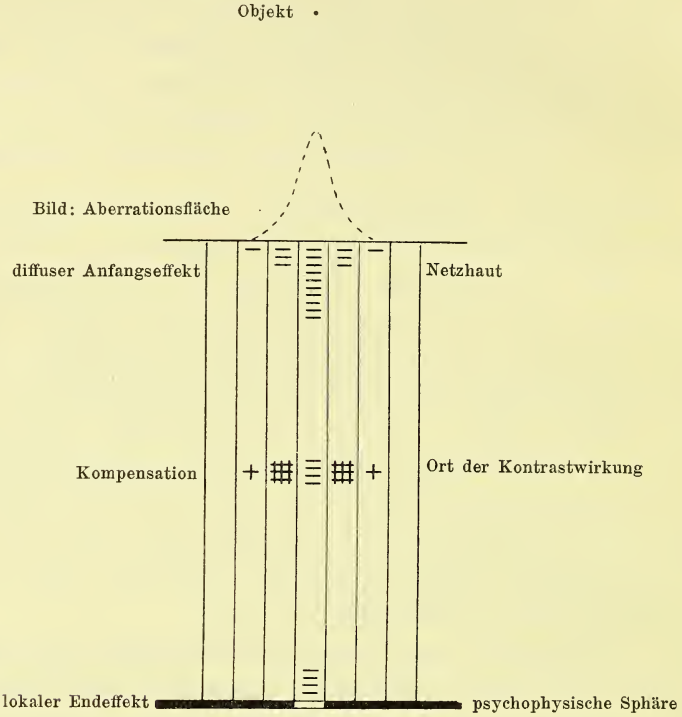

Fig. 1.

Im Anschluss an die Phänomene des Umgebungskontrastes — der Successivkontrast bleibe hier ausser Betracht — seien auch die Erscheinungen der Irradiation, d. h. der Beeinflussung der scheinbaren Grösse durch die Helligkeit oder Dunkelheit der Umgebung behandelt. Die Irradiation ist in erster Linie bedingt durch die physikalische Aberration des Lichtes, durch die Abbildungsfehler des dioptrischen Apparates: sie bedeutet dadurch gewissermassen ein Gegenstück gegenüber der rein physiologischen Grundlage der Kontrastwirkung. Die Irradiation beruht nicht etwa, wie man früher mit Plateau annahm, auf einer gleichsinnigen physiologischen Seitenwirkung oder Miterregung im Gegensatz zu der gegensinnigen Kontrastwirkung; sie bedeutet nicht eine Querausbreitung desselben physiologischen Erregungsvorganges im Gegensatze zu der Kontrastinduktion eines antagonistischen Vorganges in den Nachbarelementen. In der Irradiation manifestiert sich vielmehr die Mangelhaftigkeit des dioptrischen, des reizverteilenden Apparates, allerdings gemässigt durch das physiologische Korrektivmittel des Kontrastes: die Tatsache der Irradiation selbst erweist dieses Korrektiv als ein freilich unzulängliches.

Literaturverzeichnis.

1. Abney, W. de W., Measurement of colour produced by contrast. Proceed. of the Roy. Soc. LVI. 1894. Nr. 337. p. 221—229.
2. Asher, L., Über das Grenzgebiet des Licht- und Raumsinnes. Zeitschr. f. Biol. Bd. 35. 1897. p. 394—418.
3. Aubert, H., Über die durch den elektrischen Funken erzeugten Nachbilder. Moleschotts Unters. Bd. V. p. 279—314. 1858.
4. -- — a) Physiologie der Netzhaut. 1865. b) Physiologische Optik. 1876 (im Handbuch von Graefe-Saemisch).
5. Axenfeld, D. (Perugia), Sur la vision des couleurs de contraste. Arch. ital. de Biol. XI. p. 81—90. 1889 und Bull. della R. Acad. Med. di Roma XIV. 1888. p. 7. (Vergl. Vortrag a. d. III. intern. Physiol. Kongress Bern 1895, ref. Zentralbl. f. Physiol. Bd. IX. p. 479.)
6. — — Notes physiologiques (Un phénomène de contraste binoculaire). Arch. ital. de Biol. XII. 1889. p. 28.
7. — — Sur les couleurs de contraste à la vision binoculaire. Arch. ital. de Biol. XXVII. p. 103. 1897.
8. Brader, Über den Einfluss des Simultankontrastes auf die Verschmelzung der Lichtempfindung bei intermittierender Netzhautreizung. Diss. Freiburg 1891.
9. Becker, J. K., Zur Lehre von den subjektiven Farbenerscheinungen. 1871. Pogg. Ann. Erg. Bd. V. p. 305—319 (nach Bd. 144).
10. Birch-Reichenwald, Aars, Untersuchungen über Farbeninduktion. 1895. Christiania, J. Dybwad (15 p.), vergl. Bericht über den III. internat. Kongr. f. Psych. p. 188—190. 1898.
11. Blix, M., Über gleichfarbige (isochromatische) Induktion. Skand. Arch. f. Phys. Bd. V. p. 13—19. 1895.
12. Boll, F., Zur Anatomie und Physiologie der Retina. Du Bois. Arch. f. Phys. 1877. p. 4—36.
13. Brewster, Über Schwingungen in der Netzhaut erregt durch die Wirkung leuchtender Punkte und Linien. Pogg. Ann. Bd. 27, p. 490—497. 1833. Vergl. auch: Letters on natural magic. (p. 14).
14. — — On Hemiopsy or Half-Vision. Transact. of the Royal Soc. of Edinburgh. Bd. 24, p. 15. 1865. Vergl. auch: On a new property of the retina. Ebenda Bd. 24, p. 327. 1866.
15. Brücke, E. v., Untersuchungen über subjektive Farben. Denkschr. d. Wien. Akad. III. p. 100 und Pogg. Ann. Bd. 84. p. 418—447. 1851.
16. — — Über Ergänzungs- und Kontrastfarben. S. B. der Wien. Akad. Bd. 51. II. Abt. p. 461—501. 1865.
17. — — Über einige Empfindungen im Gebiete des Sehnerven. Ebenda. Bd. 77. III. Abt. p. 39—74. 1878.
18. — — Vorlesungen über Physiologie. II. Bd. 3. Aufl. 1884. Wien, Braumüller.
19. — — Über einige Konsequenzen der Young-Helmholtzschen Theorie. I. Abt. S.-B. der Wiener Akad. Bd. 80. III. Abt. p. 37—92. 1879.
20. Bull, O., Studien über Licht- und Farbensinn. Arch. f. Ophth. Bd. 27. Heft I. p. 54 bis 154. 1881.
21. Burch, J., On simultaneous constrast. Proceed. of the phys. soc., Journal of physiology. Vol 25. 1900. p. XVII.
22. Burckhardt, F., Über Kontrastfarben. Pogg. Ann. Bd. 118. p. 303—317. 1863.
23. — — Die Kontrastfarben im Nachbilde. Basler Verhandl. IV. p. 263—285. 1865 und Pogg. Ann. Bd. 129. p. 529—548. 1866.
24. Charpentier, A., Nouvelles recherches analytiques sur les functions visuelles. Arch. d'ophth. 1884. p. 32.

25. Charpentier, A., Sur le contrast simultané. Compt. rend. 102. 1886. p. 864—865 und Progrès méd. Nr. 17. p. 354. 1886.
26. — — Propagation de la sensation lumineuse aux zones rétiniennes non excitées. Compt. rend. 102. p. 983—984. 1886. S. auch: Compt. rend. 3 août 1891. 13 juin 1892, 17 février 1896 und Compt. rend. 124. 1897. p. 356—359 und p. 412—414. Compt. rend. de la soc. de biol. mars et avril 1888, juin 1891, mai et juin 1892.
27. — — Coloration entoptique du champ visuel en pourpre. C. R. de la soc. de biol. 1890. Nr. 20. p. 310.
28. — — Visibilité de la tache aveugle. Compt. rend. Bd. 126. p. 1634—1637. 1898.
29. — — Sur les phénomènes rétiniennes. Rapport présenté en Congrès international de physique à Paris 1900.
30. Chauveau, A., Sur les sensations chromatiques excitées dans l'un des deux yeux par la lumière colorée qui éclaire la rétine de l'autre oeil. Compt. rend. 113. 1891. p. 394 bis 398 und p. 442—446. (S. auch: ebenda 113. p. 358—362, über binok. Farbenmischung und 113. p. 439—442, über Wettstreit).
31. Chevreul, E., Sur l'influence, que deux couleurs peuvent avoir l'une sur l'autre, quand on les voit simultanément. Mém. de l'Acad. de Paris XI. 1832. p. 447—520.
32. — — De la loi du contraste simultané des couleurs. Strassburg 1839. Neubearbeitung: Paris, Gauthier-Villars 1890. - L'enseignement devant l'étude de la vision, la loi du contraste simultané des couleurs. Paris, Firmin-Didot 1874. Vergl. auch Compt. rend. XLVII. p. 196—198. 1858, Compt. rend. LI. p. 448. 1860, Compt rend. LVII. p. 713. 1863. Compt. rend. LXXXIV. p. 895. 1877. LXXXVII. 1878. p. 129, LXXXVIII. 1879. p. 727 bis 728 und 929—940, Mém. de l'acad. XLI. p. 231. 1879 und Compt. rend. XCVIII. p. 1309. 1884.
33. Cohn, H., Über Kontrastempfindung und die Unwahrscheinlichkeit ihrer Entstehung in historischer Zeit. Allg. med. Zentralzeitg. 1878. p. 399.
34. — — Der Simultankontrast zur Diagnose der Farbenblindheit. Centralbl. f. prakt. Augenheilk. II. p. 35—36. 1878.
35. Cramer, A., Beitrag zur Erklärung der sogenannten Irradiationserscheinungen. Prager Vierteljahrsschr. f. d. prakt. Heilkunde. 12. Jhrg. Bd. IV. p. 50—70. 1855.
36. Delboeuf, Étude psychophysique. Bruxelles 1873. Mayer. 116 S.
37. Dobrowolsky, W., Über den Unterschied in der Farbenempfindung bei Reizung der Netzhaut an einer und an mehreren Stellen zu gleicher Zeit. Pflügers Arch. Bd. 35. p. 536—541. 1885. Vgl. auch St. Petersb. med. Wochenschr. 1884. p. 398.
38. Donders, F. C., Über Farbensysteme. Arch. f Ophth. Bd. 27. H. I. p. 155—223. Vergl. auch: Bd. 23. H. IV. p. 282—291 und Bd. 30. H. I. p. 15—90.
39. Dopoff, Du mélange des couleurs matérielles et de leurs contrastes simultanés. C. R. de soc. de biol. 9 sér. III. p. 742—746. 1891.
40. Dove, H. W., Versuche über subjektive Komplementärfarben. Pogg. Ann. Bd. 45. p. 158—162. 1838. Vergl. auch: ebenda Bd. 75. p. 524. 1848.
41. — — Über die subjektiven Farben an den Doppelbildern farbiger Glasplatten. Pogg. Ann. 143. Bd. p. 491. 1871.
42. Ebbinghaus, H., Die Gesetzmässigkeit des Helligkeitskontrastes. S. B. der Berliner Akad. 1887. p. 994—1009. II. Hälfte.
43. — — Über Nachbilder im binokularen Sehen und die binokularen Farbenerscheinungen überhaupt. Pflügers Arch. d. ges. Phys. Bd. 46. p. 498—508. 1894.
44. Ewald, A., Über die entoptische Wahrnehmung der Macula lutea und des Sehpurpurs (1879). Unters. a. d. phys. Inst. zu Heidelberg. Bd. II. 1882. p. 241—248.
45. Exner, S., Über die zu einer Gesichtswahrnehmung nötige Zeit. S. B. d. Wiener Akad. Bd. 58. II. Abt. 1868. p. 601—632.
46. — — Über eine neue Urteilstäuschung im Gebiete des Gesichtssinnes. Pflügers Arch. f. d. ges. Phys. Bd. 37. p. 520—522. 1885 und Biol. Zentralbl. Bd. VI. Nr. 4. Vergl. auch: Gegenbemerkung, „eine neue Urteilstäuschung im Gebiete des Gesichtssinnes betr." Pflügers Arch. Bd. 40. p. 323—330. 1887.

47. Fechner, G. Th., Über subjektive Komplementärfarben. I. Teil (über die subj. Natur der Kontrastfarben), p. 221—245. II. Teil (über Nachbilder), p. 513—535. Pogg. Ann. Bd. 44. 1838.
48. — — Über die subjektiven Nachbilder und Nebenbilder. Pogg. Ann. Bd. 50. p. 193—221 und 427—470. 1840.
49. — — Über einige Verhältnisse des binokularen Sehens. Ber. der sächs. Ges. der Wiss. VII. p. 337—564. VIII. p. 511. 1860.
50. — — Über die Kontrastempfindung. Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. 1860. p. 71—145 und 1869.
51. — — Einige Bemerkungen gegen die Abhandlung Prof. Osanns über Ergänzungsfarben. Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. 1860. p. 146—165.
52. — — Über den seitlichen Fenster- und Kerzenversuch. Ber. d. sächs. Gesellsch. d. Wiss. 1862. p. 27—56.
53. Fick, Ad., Dioptrik. Nebenapparate des Auges. Lehre von der Lichtempfindung. Hermanns Handbuch der Physiologie. Bd. III. 1. Teil. p. 3—234. 1879.
54. Fick, A. E., Eine Notiz über Farbenempfindung. Pflügers Arch. Bd. 17. p. 152—153. 1878.
55. Fick, A. E., Studien über Lichtsinn und Farbensinn. Pflügers Arch. Bd. 43. p. 441 bis 501. 1888.
56. Finkelstein, L. O., Phänomene bei elektrischer Reizung des Sehapparates. Arch. f. Psych. Bd. 26. 1894. III. p. 867—885.
57. Förster, Über Hemeralopie und die Anwendung eines Photometers im Gebiete der Ophthalmologie. Graefes Arch. f. Ophth. Bd. 3. H. II. p. 68. 1857.
58. Gerstmann, H., Über Irradiation. Engelmanns Arch. f. Phys. 1899. p. 1—10.
59. Giraud-Toulon, La vision et ses anomalies. 1881.
60. Goethe, W. v., Zur Farbenlehre. Tübingen, Cotta 1810.
61. Grijns, G., Kritik von Gerstmanns Erklärung der Irradiation. Engelmanns Arch. f. Phys. 1900. 77—78.
62. Grünbaum, O. F. F., On intermittent stimulation of the retina. Journal of physiol. Vol. 22. 1898. p. 433—450.
63. Grützner, P., Einige Versuche mit der Wunderscheibe. Pflügers Arch. Bd. 55. p. 508—520. 1894.
64. Guillery, Über die räumlichen Beziehungen des Licht- und Farbensinnes. Arch. f. Augenheilk. Bd. 31. III. p. 204—220. 1895. Vergl. auch: Zur Physiologie des Netzhautzentrums. Pflügers Arch. Bd. 66. p. 401—438. 1897; Begriff und Messung der zentralen Sehschärfe auf physiologischer Grundlage. Arch. f. Augenheilk. Bd. 35. I. p. 35—39. 1897; Bemerkungen über Raum- und Lichtsinn. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. 16. p. 264—274. 1898.
65. Haab, O., Die Farbe der Macula lutea und die entoptische Wahrnehmung des Sehpurpurs. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XVIII. 1879. p. 387—395.
66. Helmholtz, H. v., Handbuch der physiologischen Optik. I. Aufl. 1856—1866. II. Aufl. 1885—1896.
67. — — Über die Kontrasterscheinungen im Auge. Verh. d. naturhist.-med. Ver. zu Heidelberg. Bd. II. 27. April 1860. p. 32—33.
68. — — Über das Eigenlicht der Netzhaut. Verh. d. Physik. Ges. zu Berlin. VII. p. 85. 1889.
69. Henry, Ch., Sur la relation générale qui relie à l'intensité lumineuse les degrès successifs de la sensation et sur les lois du contraste simultané des lumières et des teintes. Compt. rend. 122. p. 1139—1142. 1896. Vergl. Revue philos. Paris 1889. Bd. 28. p. 356—381.
70. Hering, E., Zur Lehre vom Lichtsinne (auch sep.).
I. Mitt. Über successive Lichtinduktion. S. B. d. Wiener Akad. Bd. 66. III. Abt. p. 5 bis 24. 1872.
II. Mitt. Über simultane Lichtinduktion. Bd. 68. III. Abt. p. 186—201. 1873.
III. Mitt. Über simultane Lichtinduktion und über successiven Kontrast. Bd. 68. III. Abt. p. 229—244. 1873.

IV. Mitt. Über die sogenannte Intensität der Lichtempfindung und über die Empfindung des Schwarzen. Bd. 69. III. Abt. p. 85—104. 1874.
V. Mitt. Grundzüge einer Theorie des Lichtsinnes. Bd. 69. III. Abt. p. 179—217.
VI. Mitt. Grundzüge einer Theorie des Farbensinnes. Bd. 70. III. Abt. p. 169—204.
71. Hering, E., Zur Lehre von der Beziehung zwischen Leib und Seele. I. Mitt. Über Fechners psychophysisches Gesetz. S. B. d. Wiener Akad. Bd. 72. III. Abt. p. 310—348. 1875.
72. — — Der Raumsinn und die Bewegungen des Auges. 15. Kap. II. Über binokularen Kontrast. Hermanns Handbuch der Phys. III. 1. T. p. 600—601. 1879.
73. — — Über Irradiation. (Nachtrag zu Bd. III. Teil 1.) Hermanns Handbuch. der Phys. Bd. III. 2. Teil. p. 440—448. 1880.
74. — — Zur Erklärung der Farbenblindheit aus der Theorie der Gegenfarben. Lotos N. F. Bd. I. Arch. sep. 1880.
75. — — Über individuelle Verschiedenheiten des Farbensinnes. Lotos N. F. VI. Auch. sep. 1885.
76. — — Über Sigmund Exners neue Urteilstäuschung auf dem Gebiete des Gesichtssinnes. Pflügers Arch. Bd. 39. 1886. p. 159—170.
77. Über den Begriff „Urteilstäuschung" in der physiologischen Optik und über die Wahrnehmung simultaner und successiver Helligkeitsunterschiede. Pflügers Arch. Bd. 41. p. 91—106. 1887.
78. — — Über Holmgrens vermeintlichen Nachweis der Elementarempfindungen des Gesichtssinns. Pflügers Arch. Bd. 40. p. 1—20. 1887.
79. — — Beleuchtung eines Angriffes auf die Theorie der Gegenfarben. Pflügers Arch. f. Phys. Bd. 41. p. 29—46. 1887.
80. — — Über die Theorie des simultanen Kontrastes von Helmholtz. I. Mitt. Der Versuch mit den farbigen Schatten. Pflügers Arch. Bd. 40. p. 172—191. 1887.
81. — — II. Mitt. Der Kontrastversuch von H. Meyer und die Versuche am Farbenkreisel. Ebenda Bd. 41. p. 1—29. 1887.
82. — — III. Mitt. Der Spiegelkonstrastversuch. Ebenda Bd. 41. p. 358—367. 1887.
83. — — IV. Mitt. Die subjektive „Trennung des Lichtes in zwei komplementäre Portionen". Ebenda Bd. 43. p. 1—21. 1888.
84. — — Eine Vorrichtung zur Farbenmischung, zur Diagnose der Farbenblindheit und zur Untersuchung der Kontrasterscheinungen. Pflügers Arch. f. d. ges. Phys. Bd. 42. 1888. p. 119—144.
85. — — Eine Methode zur Beobachtung des Simultankontrastes. Pflügers Arch. f. d. ges. Phys. Bd. 47. 1890. p. 236—242.
86. — — Beitrag zur Lehre vom Simultankontrast. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. I. p. 18—28. 1890.
87. — — Zur Diagnostik der Farbenblindheit. Arch. f. Ophth. Bd. 36. I. p. 217—233. 1890.
88. — — Die Untersuchung einseitiger Störungen des Farbensinns mittelst binokularer Farbengleichungen. Arch. f. Ophth. Bd. 36. III. p. 1—23. 1890.
89. — — Über einen Fall von Gelbblaublindheit. Pflügers Arch. Bd. 57. 1894. p. 308 bis 332.
90. — — Über die von der Farbenempfindlichkeit unabhängige Änderung der Weissempfindlichkeit. Pflügers Arch. Bd. 94. p. 533—554. 1903.
91. Hermann, L., Die Erscheinung simultanen Kontrastes. Pflügers Arch. Bd. III. p. 13—15. 1870.
92. Hess, C., Über den Farbensinn bei indirektem Sehen. Arch. f. Ophth. Bd. 35. IV. p. 1 bis 62. 1889.
93. — — Über Tonänderung der Spektralfarben durch Ermüdung mit homogenem Licht. Arch. f. Ophth. Bd. 36. I. p. 1—32. 1890.
94. Hess, C., und Pretori, H., Messende Untersuchungen über die Gesetzmässigkeit des simultanen Helligkeitskontrastes. Graefes Arch. f. Ophth. Bd. 40. IV. H. p. 1—24. 1894.

H. Kühler, Gesetzm. d. Helligkeitskontrastes.
Z. f. Psychol. 1905.

95. Hess, C., und Hering, E., Untersuchungen an total Farbenblinden. Pflügers Arch. Bd. 71. p. 105—127. 1898.
96. Hess, C., Über den Ablauf des Erregungsvorganges nach kurzdauernder Reizung des Sehorgans beim Normalen und beim total Farbenblinden. Arch. f. Ophth. Bd. 51. II. p. 225 bis 255. 1900.
97. — — Zur Kenntnis des Ablaufes der Erregung im Sehorgan. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. 27. 1901. p. 1—17.
98. — — Untersuchungen über das Abklingen der Erregung im Sehorgan nach kurzdauernder Reizung. Pflügers Arch. Bd. 95. p. 1—16. 1903.
99. Hilbert, R., Zur Kenntnis des successiven Kontrastes. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. IV. p. 74—77. 1893.
100. Hillebrand, F., Über die spezifische Helligkeit der Farben. S. B. der Wiener Akad. Bd. 98. III. Abt. p. 70—120. 1889. (Mit Vorbemerkungen von E. Hering.)
101. Holmgren, Welche sind unsere einfachen Farbenempfindungen oder die sogenannten Grundfarben? Congrès period. internat. des Sciences Médic. Copenhague 1884. T. I.
102. Katz, D., Über die Empfindlichkeit des Auges für simultanen und succedanen Lichtkontrast. Diss. St. Petersburg. 1893.
103. Kirschmann, A., Über die quantitativen Verhältnisse des simultanen Helligkeits- und Farbenkontrastes. Wundts philos. Studien VI. p. 417—491. 1890. Vergl. auch ebenda VII. p. 362—393. 1891 und Americ. Journal of Psychol. IV. 4. p. 74 bezw. p. 542. 1892.
104. Krause, E., Die geschichtliche Entwickelung des Farbensinns. Kosmos Jg. I. p. 264 bis 275. 1878.
105. Kries, J. v., Die Gesichtsempfindungen und ihre Analyse. Du Bois' Arch. f. Phys. 1882. Suppl.
106. — — Zur Theorie der Gesichtsempfindungen. Ebenda 1887. p. 113—119.
107. Kuhnt, Über farbige Lichtinduktion. Graefes Arch. f. Ophth. Bd. 27. III. p. 1—32. 1881.
108. Lehmann, Alfred, Versuch einer Erklärung des Einflusses des Gesichtswinkels auf die Auffassung von Licht und Farbe bei direktem Sehen. Pflügers Arch. 1885. Bd. 36. p. 580—639.
109. — — Über die Anwendung der Methode der mittleren Abstufungen auf den Lichtsinn. Wundts Philos. Stud. III. p. 497—533. 1886.
110. Le Roux, F. P., Sur l'irradiation. Compt. rend. 76. p. 960—962. 1873.
111. Mach, E., Über die Wirkung der räumlichen Verteilung des Lichtreizes auf die Netzhaut. (Erste Abhandlung.) S. B. der Wiener Akad. Bd. 52. II. Abt. 1865. p. 303—322.
112. — — Über den physiologischen Effekt räumlich verteilter Lichtreize. (Zweite Abhandl.) S. B. der Wiener Akad. Bd. 54. II. Abt. 1866. p. 131—144.
113. — — Über die physiologische Wirkung räumlich verteilter Lichtreize. (Dritte Abhandl.) Ebenda Bd. 54. II. Abt. 1866. p. 393—408.
114. — — Über die physiologische Wirkung räumlich verteilter Lichtreize. (Vierte Abhandl.) Ebenda Bd. 57. II. Abt. 1868. p. 11—19.
115. — — Bemerkungen über intermittierende Lichtreize. Du Bois' Arch. 1865. p. 629 bis 635.
116. — — Über die Abhängigkeit der Netzhautstellen voneinander. Vierteljahrsschrift f. Psychiatrie. 1868.
117. Magnus, H., Die geschichtliche Entwickelung des Farbensinnes. Leipzig, Günther. 56 p. 1877. Siehe auch: Zur Entwickelung des Farbensinnes. Klin. Monatsbl. f. Augenh. Bd. XVI. p. 465—478. 1878. Entgegnung an E. Krause. Kosmos I. p. 423. 1878.
118. Mauthner, L., Über farbige Schatten. Wiener med. Wochenschr. Nr. 38, 39. 1881.
119. Mayer, A. M., Studies of the phenomena of simultaneous contrast-color; and on a photometer for measuring the intensities of lights of different colors. Americ. Journ of science. 3. ser. Vol. 46. 1893. p. 1—22 und Phil. Mag. and Journal of science 5. ser. Vol. 36. 1893. p. 153—175.

120. Mayer, A. M., Note on the analysis of contrast-colors by viewing through a reflecting tube a graded series of gray discs or rings on coloured surfaces. Americ. Journ. of science. 4. ser. Vol. 1. 1896. p. 38—40.
121. Mc Dougall, W., Intensification of visual sensation by smoothly graded contrast. Proceed. of the phys. soc. Journal of physiology. Vol. XXIX. 1903. p. XIX—XXI.
122. Meyer, H., Über die sphärische Abweichung des menschlichen Auges. Pogg. Ann. Bd. 89. p. 540—568. 1853.
123. — — Über Kontrast- und Komplementärfarben. Pogg. Ann. Bd. 95. p. 170—171. 1855.
124. — — Über den Einfluss der Aufmerksamkeit auf die Bildung des Gesichtsfeldes überhaupt und die Bildung des gemeinschaftlichen Gesichtsfeldes beider Augen im besonderen. Arch. f. Ophth. Bd. 2. II. p. 77—92. 1856.
125. Müller, G. E., Über die galvanischen Gesichtsempfindungen. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. 1897. Bd. XIV. p. 329—374.
126. Müller, Joh., Handbuch der Physiologie. II. Bd. 1837.
127. Neiglick, H., Zur Psychophysik des Lichtsinnes. Wundts Philos. Stud. Bd. IV. p. 28—111. 1887. Vergl. Sur quelques rapports entre la loi de Weber et les phénomènes de contraste lumineux. Revue Philos. Paris. 12. Jg., Bd. XXIV. p. 180. 1887.
128. Osann, Beschreibung einer einfachen Vorrichtung zur Hervorbringung sog. komplementärer Farben und Nachweisung, dass die hiermit hervorgebrachten Farben objektiver Natur sind. Pogg. Ann. Bd. 27. p. 694. 1833. Vergl. auch: Pogg. Ann. Bd. 37. p. 287. 1836. Bd. 42, p. 72. 1837 und Über Ergänzungsfarben. Würzb. Zeitschr. I. p. 61—77. 1860.
129. Panum, P. L., Über die einheitliche Verschmelzung verschiedenartiger Netzhauteindrücke beim Sehen mit zwei Augen. Du Bois' Arch. 1861. p. 63—227.
130. Parinaud, H., Du contraste chromatique. C. R. de la soc. de biol. 22. Juli 1882 und Gaz. des Hôp. 1882. p. 686. Siehe auch: C. R. de la soc. de biol. 22. April 1882 und Gaz. des Hôp. 1882. p. 459.
131. Park, J. W., Subjective light sensations following enucleation of the eyeball. Arch. of ophthalm. July 1891.
132. Paulhorn, F., L'association par contraste: le contraste simultané. Revue scientif. 1888. II. 9, 11.
133. Pflüger, E., Die teleologische Mechanik der lebenden Natur. Pflügers Arch. Bd. 15. p. 57—103. 1877.
134. Pflüger, H., Über Prüfung des Farbensinns. Zentralbl. f. prakt. Augenheilk. II. 1878. p. 50.
135 Piper, H., Über die Abhängigkeit des Reizwertes leuchtender Objekte von ihrer Flächen- bezw. Winkelgrösse. Zeitschr. f. Psych. n. Phys. d. S. O. Bd. 32. p. 98—112. 1903.
136. Plateau, J., Über das Phänomen der zufälligen Farben. Ann. de chim. et de phys. Bd. 53. p. 386 und B. 58. p. 337 und Pogg. Ann. Bd. 32. p. 543—554. 1834.
137. Plateau, J., Berichtigung, veranlasst durch einen Aufsatz des Herrn Prof. Osann. Pogg. Ann. Bd. 38. p. 626—627. 1836. Vergl. auch: Bull. de l'Acad. de Belg. (2) XVI. p. 139. 1863, (2) XXXIX. p. 100—119. 1875. (2) XLII. Nr. 9, 10, 11, 1876. Compt. rend. LVII. p. 1029. 1863.
138. — — Mémoire sur l'irradiation. Mém. de l'Acad. de Bruxelles T. XI. 1839 und Pogg. Ann. Erg. — Bd. I (nach Bd. 51). p. 79—129, 193—232, 405—443. 1842. Siehe auch: Bull. de l'Acad. de Belg. VI (1). p. 501 und VI (2) p. 102. 1839. Ebenda 2. sér. Bd. 42. p. 535 und 684 (mit Literatur von 1839—1876). 1876; Bd. 46. p. 334. 1878; Bd. 48. p. 37. 1879. Arch. de biol. (Gand) I. p. 61—64. 1880.
139. — — Bibliographie analytique des principaux phénomenes subjectifs de la vision. Mém. cour. de l'acad. de Belgique. Bruxelles Hayez 1876—1877. I—III Nachbilder, IV Irradiation, V die gewöhnlichen Kontrasterscheinungen, VI farbige Schatten.
140. Pohlmann, Theorie der farbigen Schatten, vollständig entwickelt und durch Versuche begründet. Pogg. Ann. Bd. 37, p. 319—341. 1836.

141. Pretori, H. und Sachs, M., Messende Untersuchungen des farbigen Simultankontrastes. Pflügers Arch. Bd. 60. p. 71—90. 1885.
142. Preyer, W., Über den Farben- und Temperatursinn mit besonderer Rücksicht auf Farbenblindheit. Pflügers Arch. Bd. 25. 1881. p. 31—100. Auch sep.
143. Purkinje, Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne. (Beiträge zur Kenntnis des Sehens in subjektiver Hinsicht.) Bd. I. Prag 1823. Bd. II. Berlin 1824.
144. Ragona Scina, D., Su taluni fenomeni che presentano i cristalli colorati. Raccolta fisico-chim. del Zantedeschi II. p. 207. 1847. Vergl. auch: Zeitschr. f. Chem. 1859. p. 20 bis 24. Mem. dell' Acad. di Modena 1873. XIV. p. 7.
145. Rampoldi, Sopra alcuni fenomeni di contrasto visivo. Ann. di ottalm. 1885. p. 421.
146. Riccò, Ann., Relazione fra il minimo angolo visuale e l'intensità luminosa. Ann. di Ottalm. Anno VI. Fasc. III. 1877.
147. Ritter, Neue Versuche und Bemerkungen über den Galvanismus. (Zweiter Brief.) Gilberts Ann. 1805. Bd. 19. p. 1—44.
148. Rollet, A., Über die Änderung der Farben durch Kontrast. S. B. der Wiener Akad. Bd. 55. II. Abt. p. 344—357. 1867.
149. — — Zur Lehre von den Kontrastfarben und dem Abklingen der Farben. Ebenda. Bd. 55. II. Abt. p. 424—431.
150. — — Zur Physiologie der Kontrastfarben. Ebenda. Bd. 55. II. Abt. p. 741—766. 1867.
151. — — Versuche über subjektive Farben. Pflügers Arch. Bd. 49. p. 1—28. 1891.
152. Rood, O. N., Modern chromatics. New-York 1879.
153. Rosenstiehl. Sur l'emploi des disques rotatifs pour l'étude des sensations colorées. Compt. rend. Bd. 86. p. 343—345. 1878.
154. Schenk, F., Über intermittierende Netzhautreizung. 1. Mitt. Über den Einfluss von Augenbewegungen auf die Beobachtung rotierender Scheiben zur intermittierenden Netzhautreizung. Pflügers Arch. Bd. 64. p. 165—178. 1896.
155. — — Über intermittierende Netzhautreizung. 3. Mitt. Über den Einfluss des Simultankontrastes auf die Verschmelzung der Lichtempfindungen. Pflügers Arch. Bd. 68. 1897. p. 32—36.
156. Schoute, G. J., Wahrnehmungen mit einem einzelnen Zapfen der Netzhaut. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. S. O. Bd. 19. p. 251—262 1898, ausführlich als Diss. Leiden 1898.
157. Schmerler, B., Untersuchungen über den Farbenkontrast mittelst rotierender Scheiben. Wundts Philos. Stud. I. p. 379—417. 1883.
158. Schneider, G. H., Die physiologische Ursache der Kontrasterscheinungen. Zeitschr. f. Philos. und philos. Kritik. Bd. 85. 1884. p. 130—168 und 231—242.
159. Sherrington, C. S., On the reciprocal action in the retina as studied by means of some rotating discs. Journ. of physiology Vol. 21. p. 33—54. 1897. Vergl. Proceed. of the phys. soc., Journal of physiology. Vol. 20. p. XVIII. 1896. Ferner: Observations on „Flicker" in binocular vision. Proced. of the Royal Soc. Vol. LXXI. p. p. 71. 1903.
160. Sinnsteden, Über einen neuen Farbenkreisel zur Darstellung subjektiver Komplementärfarben. Pogg. Ann. Bd. 84. p. 45—51. 1851.
161. Smith von Forchabers, Accidental colors. Edinb. Journal of science Bd. V. p. 52. 1832. Siehe auch: Brewster, spez. p. 493—496.
162. Stilling, J., Beiträge zur Lehre von den Farbenempfindungen. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. I. und II. Beilageheft. XIII. 1875. p. 1—44. Siehe auch: Zentralbl. f. prakt. Augenheilk. II. p. 124. 1878 und V. p. 129—131. 1881. Vergl. C. Schröder, Farbige Schatten. Klin. Monatsbl. XIII. p. 354—355.
163. Szilagyi, E., Über Simultankontrast. Zentralbl. f. die med. Wiss. Nr. 47. p. 849—850. 1881.
164. Treitel, Th., Über das Verhalten der normalen Adaptation. Arch. f. Ophth. Bd. 33. H. II. p. 73—112. 1887.
165. Tschermak, A., Über die Bedeutung der Lichtstärke und des Zustandes des Sehorgans für farblose optische Gleichungen. Pflügers Arch. Bd. 70. p. 297—328. 1898.

166. Tschermak, A., Beobachtungen über die relative Farbenblindheit im indirekten Sehen. Pflügers Arch. Bd. 82. p. 559—590. 1900.
167. — — Über anomale Sehrichtungsgemeinschaft der Netzhäute bei einem Schielenden. Arch. f. Ophth. Bd. 47. III. 1898. p. 508—550.
168. — — Über die absolute Lokalisation bei Schielenden. Arch. f. Ophth. Bd. 55. I. 1902. p. 1—45.
169. — — Über physiologische und pathologische Anpassung des Auges. Leipzig, Veit u. Comp. 1900.
170. — — Die Hell-Dunkeladaptation des Auges und die Funktion der Stäbchen und Zapfen. 1902. Ergeb. d. Physiol. I. Bd. 2. H. p. 695—800.
171. Tschiriew, Nouvelle hypothèse des sensations coloriés. Arch. de phys. 5. sér. Bd. VIII. 1896. p. 975—986.
172. Volkmann, A. W., Über Irradiation. Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. II. III. 1857. p. 129 bis 148. Siehe auch: Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. 1853. Göttinger Nachr. 1861. p. 170 bis 176. Ber. d. Münch. Akad. d. Wiss. Bd. II. 1861. p. 75—78.
173. — — Physiologische Untersuchungen aus dem Gebiete der Optik. Heft I. 1863.
174. Waller, A. D., A new colour contrast experiment. Proceed. of the phys. soc., Journal of physiology. Vol. 12. 1891. p. XLIV—XLIX.
175. Weber, Ad., Über Farbenprüfung. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XIII. p. 486—488. 1875.
176. Welcker, H., Über Irradiation und einige andere Erscheinungen des Sehens. Giessen. 1852.
177. Wolff, G., Zur Theorie der Irradiation. Bericht über den III. intern. Kongr. f. Psych. p. 198—200. 1898.
178. Wundt, W., Grundzüge der physiologischen Psychologie. Leipzig. I. Aufl. 1874.
179. — — Bemerkungen zu Neiglicks Aufsatz: Zur Psychophysik des Gesichtssinnes. Philos. Stud. IV. p. 112—116. 1887.
180. — — Die Empfindung des Lichtes und der Farben. Philos. Stud. Bd. IV. 1888. p. 311 bis 389.

Anmerkung. Die Nummern 10, 102, 132, 177 blieben mir unzugänglich.

II. Beobachtung des Simultankontrastes im allgemeinen.

Trotz der fundamentalen biologischen und speziell sinnesphysiologischen Bedeutung des Kontrastes, trotz seiner so gut wie dauernden Aktivität bedarf es doch besonderer Methoden, um sein Bestehen besonders sinnfällig zu machen, um ihn ungestört beobachten und seine Gesetzmässigkeit studieren zu können. So wurde seit langem eine ganze Reihe von Demonstrationseinrichtungen ersonnen, deren wichtigste im folgenden kurz erwähnt werden sollen. Die meisten dienen der Hervorrufung der sogenannten subjektiven Komplementärfarben, dem Farbenkontraste. Nur aus Gründen der Darstellung seien ferner gesondert behandelt die mehr oder weniger gleichmässig auf Flächen auftretenden Änderungen der Helligkeit und Farbe durch gleichzeitige benachbarte Eindrücke — kurz als „Flächenkontrast" bezeichnet — und andererseits die an den Grenzen differenter Eindrücke wahrnehmbaren mehr oder weniger lokalen Kontrasteffekte, der „Randkontrast".

1. Flächenkontrast.

A. Helligkeitskontrast.

Den Einfluss der Umgebung auf die farblose Helligkeit oder Dunkelheit eines Eindruckes demonstriert schon deutlich die bekannte (z. B. bei W. v. Goethe, 60, § 250) gleichzeitige Darbietung zweier Scheibchen oder Streifen aus demselben Graupapier, also von gleicher Lichtintensität, auf hellem, sogenannt weissen Grunde und auf dunklem, sogenannt schwarzen. Analoges lehrt das abwechselnde Erscheinenlassen desselben grauen Streifens vor einem weissen oder schwarzen Grunde. Noch deutlicher ist die Verschiedenheit zweier mittelstark durchleuchteter Löcher in einem halb weissen, halb schwarzen Schirme, zumal wenn vor das letztere Loch noch eine schwarze Röhre gesetzt wird. Eine grosse Zahl von Varianten dieser Versuche hat Fechner (50) beschrieben.

Eine elegantere und mehrseitige Verwendung gestattet das Heringsche Prinzip der Doppelzimmer- oder Doppelschirmanordnung: ein von rückwärts her variabel durchleuchteter Ausschnitt in einem Schirm, welch letzterer von vorne her variabel beleuchtet ist. Jede Änderung der objektiven Beleuchtung des Schirmes bedingt eine entgegengesetzte scheinbare Änderung des Ausschnittes: die durchtretende Strahlung von konstanter mittlerer Intensität kann auf diese Weise bald den Eindruck hell, weiss — bald den Eindruck dunkel, schwarz machen und einen erheblichen Wechsel der scheinbaren Helligkeit erfahren, ohne dass der tatsächliche Wechsel der Beleuchtung des Grundes auffallend, ja nur merklich wird. Einen Spezialfall dieser Erscheinung hat S. Exner (46) als eine vermeintliche Urteilstäuschung beschrieben (vergl. Hering, 76, 77). Er fand, dass selbst, nachdem das rasche Wechseln oder Flackern der Beleuchtung des Grundes zwischen den Grössen 1 bis 10 infolge von Ermüdung unmerklich geworden war, ein kleines umschlossenes Feld von konstanter Lichtstärke noch zu flackern schien. Der bereits unmerkliche Helligkeitswechsel des Grundes wirkte also noch kontrastiv.

Um einander im Helligkeitseffekte gegensätzlich zu beeinflussen, brauchen jedoch die beiden Flächen verschiedener Lichtstärke nicht zentrisch zueinander angeordet zu sein oder überhaupt aneinander zu grenzen. Diese sehr bedeutsame Weitererstreckung der Kontrastwirkung über die unmittelbare Umgebung hinaus haben zuerst Chevreul (31, 32), Fechner (50, p. 117) und W. Wundt (179) festgestellt. Auf dieses Verhalten weist bereits der Umstand hin, dass die Ausdehnung des eine farblose Scheibe umgebenden schwarzen (oder farbigen) Grundes von Einfluss ist auf die Helligkeit (oder Sättigung der Kontrastfärbung) der Scheibe. — Auch Aubert (3) konstatiert,

dass schon schwache und lokal beschränkte Reize eine Umstimmung der Empfindung in der ganzen übrigen Netzhaut bewirken können. So beobachtete er das Verschwinden sämtlicher lebhafter Erscheinungen des Eigenlichtes und Verdunkelung des ganzen Sehfeldes des dunkel adaptierten Auges, sobald die Reizung einer beschränkten Netzhautstelle überschwellig wurde, z. B. ein kurzer, glühender Platindraht eben leuchtend gesehen wurde. Ebenso bemerkte Aubert (4a, p. 334) das Unsichtbarwerden aller matt sichtbaren Objekte in einem abgedunkelten Zimmer, sobald das Überspringen eines elektrischen Funkens gesehen wurde.

Es ist überhaupt nicht möglich, die antagonistische Wechselwirkung zwischen zwei gleichzeitigen optischen Eindrücken, selbst bei maximaler Entfernung der Reize auf der Netzhaut, ganz auszuschalten. Auch bei Versuchen über lokale Adaptation, über lokale Nahbilder ist die weite Ausdehnung der Kontrastwirkung zu berücksichtigen: eine Netzhautstelle lässt sich überhaupt nicht „isoliert" betrachten[1]).

B. Farbenkontrast.

Noch sinnfälliger und anziehender sind die Phänomene des Farbenkontrastes, in denen ein „sonst" farblos heller oder dunkler Eindruck durch die Farbe der Umgebung wesentlich gegenfarbig, ein „sonst" farbiger in geänderter Sättigung oder in geändertem, ev. gegensätzlichem[2]) Farbentone erscheint. — E. v. Brücke hat den Eindruck des sogenannten farbigen Lichtes als induzierende Farbe, jenen des unzerlegten Lichtes als induzierte Farbe bezeichnet. In analoger Weise spricht man von einem kontrasterregenden und einem kontrastleidenden Feld. Jedoch stehen immer beide Felder unter gegenseitiger Wirkung[3]). Schon der Laie

---

[1]) Hering (76, p. 168) bemerkt diesbezüglich:

„Der physiologische Zustand einer Netzhautstelle A ist stets mitbedingt durch den physiologischen Zustand der ganzen übrigen Netzhaut und insbesondere derjenigen Teile derselben, welche der Stelle A benachbart sind. . . . Aber auch die entfernteren Teile besitzen einen solchen, und es kann wegen der Summation ihrer Einzelwirkungen ein beträchtlicher Einfluss auf A ausgeübt werden."

[2]) Vergl. die Beobachtungen von E. v. Brücke (15), Helmholtz (67; 66, I. p. 390, 395, II. p. 540, 553), Rollett (151, p. 27, 28). — A. Kirschmann (103, p. 490) bezeichnet mit Unrecht die Annahme als ziemlich naheliegend, dass eine Farbenempfindung nur insoweit einer Modifikation ihrer Qualität durch den Kontrast unterworfen sei, als die ihr beigemischte achromatische Erregung eine Beeinflussung durch den Kontrast zu erleiden vermag. Damit würde die Möglichkeit der Beeinflussung einer Farbe als solcher durch eine andere bestritten und den Farben nur die Fähigkeit zugestanden auf Grau kontrasterregend zu wirken.

[3]) Dieses Verhalten betonend erklären Pretori und Sachs (141): „Nur um die beiden Felder schon durch die Bezeichnung unterscheiden zu können, wollen wir das eine das „kontrasterregende", das andere das „kontrastleidende" nennen". Bei erheblicher Grössendifferenz nähern sich diese Bezeichnungen der Richtigkeit.

sagt, dass sogenannte komplementäre oder Gegenfarben, ebenso wie weiss und schwarz, einander heben (vergl. Lionardo da Vinci. Trattato della pittura. 1651, Cap. 200). — Bei Verfärbung eines farbigen Eindruckes in andersfarbiger Umgebung spricht Helmholtz (66, I. A. p. 388, II. A. p. 538) von Entstehung einer resultierenden Farbe aus der „reagierenden" Farbe und der „induzierten" oder Kontrastfarbe. Die Bezeichnung Herings „simultane Licht- und Farbeninduktion" bedeutet etwas ganz anderes, nämlich die dem gegensinnigen Simultankontrast folgende Phase gleichsinniger Veränderung (s. Kap. III).

Gerade für die Demonstration der sogenannten subjektiven Farben ist eine Fülle von Methoden ersonnen worden.

I. Das einfachste Verfahren — der einfache Grundkontrast — war schon Lionardo da Vinci bekannt, wurde von Prieur de la Côte d'Or (1805) und W. v. Goethe (60, §§ 56, 58, 79) beschrieben und dann besonders von Chevreul (31, 32) studiert. Die Methode besteht im Auflegen eines weissen, grauen, schwarzen oder farbigen Scheibchens oder Streifens, oder im Anbringen einer von sogenanntem farblosen Lichte durchstrahlten Öffnung (vergl. W. v. Goethe 60, § 79) auf einem farbigen, event. in wechselnder Farbe beleuchteten Hintergrund. Der umgekehrte Versuch — Einbringen eines farbigen Objektes auf einen farblosen Grund — ist dadurch besonders interessant, dass man dabei den Grund sich plötzlich und weithin mit einem gegenfarbigen Schein überziehen sieht: auf die weite Ausdehnung auch der farbigen Kontrastwirkung hat zuerst Chevreul (31) hingewiesen.

Die gegenfarbige Tinktion sogenannter grauer Papiere auf farbigem Grunde wird besonders begünstigt, wenn die störenden kleinen Unregelmässigkeiten der Papiere, das sog. Korn (vergl. Hering, 81, p. 3 und 26) der Wahrnehmung entzogen und die Helligkeit passend abgestuft wird. Dies leisten zwei Modifikationen des oben angedeuteten Verfahrens, das eine bestehend im Darüberbreiten von Florpapier über Papierproben — der sogenannte Florkontrast. Die älteste Angabe hierüber steht bei Joh. Müller (126, p. 372), welcher ein farbiges Glas mit dünnem Papier bedeckt vor eine Lampe hielt und die Kontrastfärbung eines untergelegten Papierschnitzels beobachtete. Von Hermann Meyer (123) rührt die übliche Form her: farbiges Papier mit aufgelegten Schnitzeln aus passendem Graupapier, darüber Florpapier gebreitet. Andererseits eignen sich Maxwellsche Kreiselscheiben vorzüglich, an denen man weiss mit schwarz, sowie Farbe mit grau, eventuell in sehr geringer Sättigung, kombiniert — zumal bei Verwendung von drei Scheibengrössen und von weiss und schwarz als Mittelring, sog. Scheibenkontrast (vergl. Dove [40], Sinnsteden [160], Aubert [4a, p. 383], Helmholtz [66], I. p. 411, II. p. 544], Burkhardt [22], A. Rollett [150], Rosenstiehl [153]). Grützner [63] verwendete u. a. stroboskopische Bildscheiben mit zwei Kränzen farbloser Punkte, deren einer, durch Ver-

klebung der Schlitze in der Blickscheibe mit farbiger Gelatine, gefärbt, deren anderer, im Kontraste gefärbt erscheint. In glänzender Weise sind nach A. Rollett (151) die Kontrasterscheinungen mittelst des Projektionsapparates unter Verwendung von Trögen für Farbflüssigkeiten zu demonstrieren, sei es dass man den Strahlenkegel oder das beleuchtete Feld beachtet. — Genauere Angaben über Änderung des Farbentones (natürlich auch der Sättigung, Nuance, Helligkeit) farbiger Objekte auf andersfarbigem Grunde finden sich u. a. bei Chevreul (31), Aubert (4a, p. 382) und bei A. Rollett (150).

II. Eine weitere Demonstrationsmethode, der sogenannte Spiegelkontrastversuch, betrifft das Gefärbterscheinen eines zugespiegelten farblosen Lichtes bezw. Schattens infolge eines grundierenden farbigen Glaslichtes. Dieser Methode bediente sich bereits W. v. Goethe (60, § 80): er beschreibt das von der oberen Fläche einer grünen Glasplatte gelieferte Spiegelbild der Fensterstäbe als purpurn, das von der unteren Fläche gelieferte als grün. Ebenso sah er das oberflächliche Spiegelbild einer weissen Fläche auf einer Schicht blaugefärbten Wassers rotgelb, das Spiegelbild von der Bodenfläche blau. Analoge Vorrichtungen haben Brandes (1827), Osann (128) und Dove (40, 41) beschrieben. Die bequemste Form des Spiegelversuches stammt von Ragona Scina ([144] vergl. auch E. von Brücke [15]): nach einer der von Hering (82) angegebenen Modifikationen blickt man durch eine unter 45° gestellte Platte farbigen Glases auf ein horizontales Blatt mit schwarzen und weissen Figuren z. B. Ringen von je 1 cm Breite (Hering). Ein zweites solches Blatt steht vertikal vor der dazu geneigten Glasplatte. Die schwarzen Figuren des horizontalen Blattes, auf welche von dem vertikalen Blatte farbloses Licht zugespiegelt wird, erscheinen in lebhafter Kontrastfärbung, die schwarzen Figuren des vertikalen Blattes in satter, der Grund in unsatter Farbe des Glases. In der von W. v. Goethe angegebenen Form wurde der Versuch durch D. Axenfeld (5) neuerlich beschrieben.

III. Sehr eindringlich, elegant und brauchbar ist die Methode der farbigen Schatten, deren Wesen schon Lionardo da Vinci (vor 1519, Trattato della pittura 1651, Cap. 156 und 328. Mahlerey, 1786, p. 67, zit. nach Aubert [4a] p. 382), Otto von Guericke (Experimenta nova Magdeburgica 1672, p. 142, zit. nach Aubert ([4a] p. 382) und Buffon (1743) bekannt war. Aber erst W. v. Goethe ([60] vgl. auch Chevreul 1879) hat sie zum systematischen Studium ausgebildet und folgende Bedingungen für den Versuch aufgestellt: eine gewisse Färbung des „wirksamen Lichtes", welches den Schatten eines entgegengestellten Körpers, z. B. eines Stabes entwirft, und eine gewisse Aufhellung des Schattens durch ein zweites Licht, das sog. Gegenlicht. Mittelst dieses bereits vom Abbé Mazeas (1752) angewandten, dann der photometrischen Methode von Rumford zu Grunde gelegten Prinzipes der doppelten Lichtquelle bezw.

des doppelten Schattens demonstrierte Goethe das Blauerscheinen des von dämmerigem Tageslicht (§ 65, 70) oder von Mondlicht (§ 76) aufgehellten Schattens, den das gelbe Kerzenlicht von einem Stabe entwirft. Ebenso brachte er durch Vorsetzen eines farbigen Glases vor eine Kerze den Schatten d. h. das Licht einer unbedeckten zweiten Kerze (oder sogar mit einem gleichgefärbten, aber minder satten Glase bedeckt: G. Th. Fechner (48), Helmholtz (66) I. 395, II. 553) zum Erscheinen in der „geforderten" Farbe (§ 68). In der Landschaft beobachtete Goethe bei gelblicher Beleuchtung leise violette Schatten, bei stark gelber blaue, bei Sonnenuntergang in purpur herrliche grüne Schatten (§ 75). Übrigens kommen bei den farbigen Schatten in der Natur neben der Färbung durch Kontrast noch manche andere Momente in Betracht, speziell die Beleuchtung der Schatten durch das blaue Himmelslicht (Beguelin 1767), die Blaufärbung trüber Medien vor dunklem Grunde. — Vielleicht verleitete gerade die erstaunliche Deutlichkeit und Sättigung der Schattenfärbung in solchen Versuchen Osann (128) dazu, ähnlich wie vorher Melville (1760), Bouguer (1760) und speziell Mongez (1778), v. Paula Schrank (1811, 1813), Zschokke (1826) und v. Münchow, eine objektive Veränderung des sogenannten Gegenlichtes anzunehmen — eine These, welche Plateau (137) und Fechner (47, 51) eingehend widerlegten. Die Zahl der älteren Beobachter farbiger Schatten überhaupt ist Legion[1]).

Die exakteste und verwendbarste Form hat der Schattenversuch seitens E. Hering (84) erhalten: erst in dieser Gestalt ist er zu einer ausgezeichneten Methode für die Untersuchung der Kontrasterscheinungen, zur Prüfung der Unterschiedsempfindlichkeit und für die Diagnose der Farbenblindheit geworden. Zur Untersuchung der Feinheit des Farbensinnes hatte zuerst Chevreul (32) den Simultankontrast[2]) überhaupt verwendet, dann hatte zur Diagnose der Farbenblindheit J. Stilling (162) und L. Mauthner (118) die farbigen Schatten, Ad. Weber (175) den Florkontrast, H. Cohn (34) und H. Pfüger (134) den Spiegelkontrast in Anwendung gebracht. — Im Prinzip besteht die Beleuchtungseinrichtung Herings aus zwei regulierbaren vertikalen Spalten in einem sonst lichtdichten Fensterladen. Längs des einen Längsspaltes von regulierbarer Breite ist ein Rahmen von oben nach unten verschieblich, in dessen obere Hälfte ein rotes, in dessen untere ein blaues Glas eingesetzt ist. Anderseits fällt diffuses Tageslicht durch einen Spalt von regulierbarer Länge und Breite, der mit Mattglas gedeckt ist. Dem Fenster gegenüber wirft eine vertikale schwarze Latte zwei aneinander grenzende Schatten auf einen

---

[1]) Man sehe die chronologische Titelaufzählung in A. Königs Literaturverzeichnis zu Helmholtz (66) II. § 24.

[2]) Der sog. Contraste rotatif (bei langsamer Drehung einer halb weissen, halb farbigen Scheibe erscheint die weisse Hälfte in der Kontrastfarbe, Chevreul 1879) ist wesentlich Successivkontrast.

vertikalen weissen Schirm. Die Einrichtung gestattet die Abwandlung des farbigen Lichtes — allein für sich sichtbar in dem von der farblosen Lichtquelle entworfenen Schatten — von gelblichrot durch urrot, purpurn, violett bis blau und damit die Abwandlung des allein vom unzerlegten Tageslichte in eben passender Stärke aufgehellten Schattens durch blaugrün, urgrün, gelbgrün bis gelb. Durch Auffangen beider Schatten auf einer relativ kleinen weissen Tafel auf schwarzem Grunde lässt sich die von beiderlei Lichtquellen bestrahlte Umgebung abblenden und ein gehälftetes Feld gewinnen, auf dem sich sehr bequem für einen Farbenblinden Gleichungen zwischen beiden Hälften herstellen lassen. Diese von Hering angegebene Untersuchungsmethode gestattet eine prompte Abstufung der farbigen wie der Kontrasthälfte, auch ein rasches Auffinden der für den betreffenden Farbenblinden unter den gegebenen Bedingungen „neutralen" Lichter und vor allem ein bequemes Mitbeobachten des Untersuchers selbst. Speziell für die Stellung und Demonstration der Differentialdiagnose[1]) zwischen den beiden Typen der Rotgrünblinden, den relativ Gelbsichtigen oder sog. Grünblinden (analog dem gelbsichtigen Typus der Farbentüchtigen, den sog. anomalen Trichromaten) und den relativ Blausichtigen oder sogenannten Rotblinden (analog dem blausichtigen Typus der Farbentüchtigen), ist die Heringsche Schatteneinrichtung von eminenter Brauchbarkeit. Dass dieselbe auch zur Untersuchung der Unterschiedsempfindlichkeit für sogenannt farbloses Licht verwendbar ist, sei nur nebenbei erwähnt.

IV. Ein weiteres Demonstrationsverfahren für farbigen Kontrast ist die Doppelbildermethode von H. v. Helmholtz (66, I. p. 406, II. p. 559). Bringt man auf einem rechts weissen, links grünen Grund nicht weit von der Trennungslinie beiderseits ein schwarzes Scheibchen an und beobachtet nun durch ein Stück Doppelspat, so schiebt sich das ausserordentliche Bild des Grün über das ordentliche des Weiss in Form eines unsatten mittleren Streifens. Das innerhalb des Streifens erscheinende ordentliche Bild des rechtsseitigen schwarzen Scheibchens entbehrt des Weiss und erscheint von sattem Grün gedeckt, das gleichfalls innerhalb des Streifens erscheinende ausserordentliche Bild des linksseitigen schwarzen Scheibchens entbehrt des Grün, ist aber von Weiss grundiert und erscheint in der Kontrastfarbe. — Zugleich ein schönes Beweismittel für eine physiologische Erklärung des Kontrastes stellt die Doppelbildermethode von E. Hering (85) dar. Sie demonstriert, dass objektiv gleiche Lichtergemische einen verschiedenen Eindruck liefern, wenn sie auf verschiedenfarbigem Grunde betrachtet werden. Man beobachte einen gelben Streifen auf blauem Grunde und daneben einen blauen auf gelbem Grunde so durch ein Stück Doppelspat, dass die Streifen

[1]) Auf Grund der Beschaffenheit der sogenannten neutralen Lichter und der relativen Intensität bezw. Helligkeit der beiden Gleichungshälften.

verdoppelt, die Grenze der beiden Grundhälften jedoch einfach erscheint. Das verdoppelte Bild des einen Streifens und das verdoppelte Bild des anderen erscheinen verschieden und zwar gegensätzlich zum Grunde gefärbt, obwohl auf beiden Seiten dieselbe Mischung gelben und blauen Lichtes (Grund und Streifen) erzeugt wird. Bei Verwendung weisser und schwarzer Grundhälften und Streifen treten entsprechende Unterschiede subjektiver Helligkeit auf[1]).

V. Sehr deutlich ist ferner, soweit gewisse Bedingungen eingehalten werden, die Kontrastfärbung im negativen Nachbilde, wie man es nach längerer Fixation eines sog. farblosen Objektes auf farbigem Grunde (oder umgekehrt) erhält. Und zwar ist jene speziell von Hering (70, § 10, 76, p. 165) studierte Erscheinung oft gerade dann sehr eindringlich, wenn während der vorangehenden Beobachtung selbst eine Kontrastfärbung des farblosen Objektes kaum oder überhaupt nicht wahrgenommen worden ist, was auch Fechner (47, p. 532), Aubert (4a, p. 383), F. Burckhardt (23), Helmholtz (66, I. p. 395, II. p. 548) beobachtet haben.

Die Methoden zum Nachweise des binokularen Kontrastes werden gesondert zu besprechen sein (Kap. IV).

2. Randkontrast.

Ehe auf die speziellen Bedingungen und Gesetzmässigkeiten eingegangen wird, wie sie mittelst der angeführten Methoden und an der willkürlich als „Flächenkontrast" abgesonderten Erscheinungsweise zu beobachten sind, seien die mehr oder weniger lokalen Kontrasteffekte, oder besser Kontrastdifferenzen, als „Randkontrast" für sich behandelt. Doch liegt in beiden Gruppen ganz dieselbe, prinzipiell unteilbare Kontrastwirkung vor.

A. Helligkeitskontrast.

Bekanntlich erscheint bei ruhendem Blick eine graue Scheibe auf schwarzem Grund nach dem Rande zu heller als in der Mitte, eine schwarze Scheibe oder ein lichtloser Ausschnitt auf weissem Grund zeigt eine minder dunkle Füllung und einen dunkleren Saum, entsprechend dem helleren Hofe ringsherum. — Die Helligkeitsunterschiede sind zu beiden Seiten der Grenzen am grössten, die Konturen dadurch besonders betont. Bei Herstellung eines haploskopischen Kombinationsbildes zwischen einer gleichmässigen Fläche

[1]) Nebenbei sei hier die Beobachtung von Rampoldi (145) notiert, dass bei Doppeltsehen einer schwarzen Linie auf weissem Grunde (durch Vorschieben des Randes einer schwachen Konvexlinie vor die eine Pupillenhälfte) das abgelenkte Bild infolge der prismatischen Wirkung rötlichgelb, das nicht abgelenkte im Kontrast dazu grünlich-bläulich erscheint — speziell bei Blickschwankung (Successivkontrast).

und einer konturführenden sehen wir die Konturen ganz allgemein über den Grund prävalieren: nur ganz ausnahmsweise bei strenger Fixation und langdauernder Beobachtung können sie im Wettstreite zeitweilig unterliegen (Hering). Der über den Grund prävalierende oder über einen anderen Kontur eben siegende konturierte Eindruck nimmt sozusagen stets seinen Kontrasthof in das Sammelbild mit.

Zur Demonstration des farblosen Randkontrastes eignen sich besonders die von Mach (111), Helmholtz (66, I. p. 413, II. p. 545), Aubert (4a, 4b) angewendeten sog. Stufenscheiben (und analoge rotierende Zylinderflächen nach Mach), d. h. Kreiselscheiben, welche einen weissen und einen schwarzen Sektor in verschiedenem Verhältnisse und zwar in fortschreitender Abstufung aufweisen. Während der Rotation sieht man — auch bei momentaner Beleuchtung durch den elektrischen Funken (Mach [111] p. 317) — eine Anzahl von Ringen, deren jeder gegen den dunkleren Nachbar einen helleren Saum, gegen den helleren Nachbar einen dunkleren Saum zeigt. Den Randkontrast im umgekehrten Sinne sieht man im negativen Nachbilde (Mach): auf Machs Verwertung dieser Beobachtungen für die Annahme einer physiologischen Grundlage des Kontrastes wird in Kap. VI eingegangen werden. — Einen gleichen Anblick wie die Stufenscheiben bietet, wie bereits Goethe (60, § 413) beschreibt, eine Reihe aneinander grenzender Streifen von abgestuftem Grau, desgleichen die Schattenserie, welche man von einer Reihe von Kerzen und einem schwarzen Schirme auf einem weissen Grunde erhält, wenn der Schirm längs der Kerzenreihe etwa bis zur mittleren Kerze vorgeschoben ist (Ad. Fick [53] p. 231). — Ein mehrstrahliger weisser Stern auf schwarzem Grunde zeigt bei Rotation auf dem Kreisel einen hellen Ring zwischen dem „reinweissen" Zentrum und der zunehmend schwärzlich abschattierten peripheren Zone (E. Mach [111], ebenso W. Mc Dougall [121]).

In analoger Weise erscheinen in der Landschaft die kulissenartig ohne sichtbares Detail hintereinander geschobenen Höhenzüge in abgestuftem Grau mit Betonung der Ränder: die Felswände der Dolomiten, gegen die Sonne betrachtet, oder die Waldeshöhen des Harzes bei Abenddämmerung bieten dieses schöne Bild. — Auch sei hier der Beobachtung L. Hermanns (91) gedacht, dass die Stäbe einer weissen Gitterzeichnung auf schwarzem Grunde an den Kreuzungspunkten weniger hell erscheinen als an den Zwischenstücken.

B. Farbenkontrast.

In einem kontrastiv gefärbten Felde bestehen ganz analoge Differenzen an Sättigung sowie Nuanzierung und Helligkeit zwischen den Rändern und der Füllung: ebenso sind an farbigen Stufenscheiben (Mach, 114) Randdifferenzen zu erhalten. Auch im negativen Nachbilde von farbigen Objekten auf farblosem

Grunde ist der umgebende Kontrasthof häufig sehr deutlich und zwar nicht selten viel deutlicher wie während der vorangegangenen Beobachtung selbst. Andererseits zeigt ein farbiges Feld auf passend gewähltem grauen Grunde, abgesehen von einem besonders deutlichen Kontrasthofe ringsum, regionale Differenzen, nämlich die beste Sättigung am Rande, eine geringere in der Mitte.

Die subjektiven Farben- und Helligkeitsunterschiede innerhalb eines Feldes sind in der Weise zu deuten, dass die einzelnen Teile eines Feldes, die Elementareindrücke, sich gegenseitig durch Kontrast in ihrer „eigenen" Helligkeit oder Farbe beeinträchtigen (Binnenkontrast), und dass die randständigen infolge der beschränkten Zahl von konkurrierenden Nachbarn die geringste Kontrast-Subtraktion erfahren, also relativ die hellsten oder farbigsten sind, während die mittleren Elementareindrücke von allen Seiten her „gedrückt" werden, also relativ dunkler und unsatter sind. Auf dieses Verhalten[1]) der grösseren Helligkeit oder der besseren Sättigung der Ränder als Negativprodukt des Binnenkontrastes werde ich in Kap. V zurückkommen.

III. Die Gesetze des Simultankontrastes.

A. Ausdehnung und Existenz der Kontrastwirkung.

Schon bei der Schilderung der Demonstrationsmethoden ward die von Chevreul gefundene, von Fechner, Aubert und Wundt eingehender studierte Tatsache der weiten Erstreckung der Kontrastwirkung über die Mosaik der Sehelemente betont und in ihrer Bedeutung gewürdigt. Der gegensätzliche Sekundäreffekt nimmt deutlich mit der Entfernung von der gereizten bezw. primär erregten Netzhautstelle ab. Die Erscheinungen des Simultankontrastes sind darum auf kleinen Feldern deutlicher wie auf grossen — ganz abgesehen davon, dass bei jenen kleine Blickschwankungen und damit die unterstützende Wirkung des Successivkontrastes weit mehr ins Gewicht fällt. Auch sehen wir, dass schon eine kleine Entfernung zweier Eindrücke ihrer Wechselwirkung nicht unerheblich beeinträchtigt; so mindert, wie Helmholtz (66, I. p. 414, II. 545—548) besonders betont, schon eine schmale schwarze Grenzlinie, die allerdings zudem Helligkeitskontrast bedingt, zwischen zwei Feldern den Simultankontrast deutlich. Ebenso hat Mach (111) ausführlich gezeigt, dass die

[1]) Hering (70, § 32) bemerkt: „Man kann also sagen, dass gleichzeitig gereizte Stelle sich gegenseitig in ihrer Helligkeit beschränken und sozusagen verdunkeln. . . Es erklärt sich nun, warum helle Objekte auf dunklem Grunde heller erscheinen, wenn sie ein kleines, als wenn sie ein grosses Netzhautbild geben." — „Bei kleiner Reizfläche wird jedes Einzelteilchen der Netzhaut, bezw. des Sehorgans, nur von verhältnismässig wenigen gleichzeitig beleuchteten Teilen im Sinne von Herabsetzung der Erregbarkeit beeinflusst. Die Erregbarkeit wird also weniger herabgesetzt, als wenn jede Netzhautstelle von allen anderen im gleichen Sinne beeinflusst wird."

Kontrastwirkung in unmittelbarer Nähe der Grenzlinie der beiden Farben weitaus am stärksten ist. Dies betont auch Hering[1]) (82, p. 366): „Die Kontrastwirkung nimmt mit dem Abstande der beiden Felder, des induzierenden und des reagierenden, schnell ab". Neiglick nahm hingegen in unzutreffender Weise einfache indirekte Proportionalität zwischen Kontrastgrösse und Abstand an — ein Schluss, den Wundt (179, spez. p. 114 Anm.) für nicht gerechtfertigt erachtet.

Die leicht demonstrierbare Ausdehnung der Kontrastwirkung bildet zugleich einen wichtigen Beweis für die tatsächliche Existenz des Simultan kontrastes überhaupt, die wiederholt in Zweifel gezogen worden ist. Es ward nämlich, zuerst von Jurin (1783) und Brandes (1827), eingewendet, dass das schon während der längerdauernden Beobachtung sich entwickelnde negative Nachbild infolge von kleinen Blickschwankungen eine gegensätzliche Färbung in der Umgebung des Objektes, speziell einen solchen Randsaum, vortäusche — ja dass es überhaupt nur einen Successivkontrast, nicht aber auch einen simultanen gebe. Diesem Einwande gegenüber ist allerdings, wie bereits Helmholtz (66, I. p. 389, II. 539) betont hat, zuzugestehen, dass bei dem gewöhnlichen Mangel an Übung im Fixieren sich infolge der Blickschwankungen sehr leicht die Erscheinung des successiven Kontrastes mit jener des simultanen kombiniert und den letzteren übertrieben erscheinen lässt. Die Bedeutung dieser naturgemässen Kombination für das Sehen wird später zu erörtern sein.

Abgesehen von der gerade früher angeführten Ausdehnung der Kontrastwirkung weit über das Bereich der vorkommenden Blickschwankungen hinaus (vgl. Hering. 70, § 13) beweisen jedoch, wie bereits Fechner (47, 48) betonte, zahlreiche Beobachtungen unter besonderen Kautelen zweifellos die Existenz des Simultankontrastes. Kurz sei noch hingewiesen auf die positiven Angaben geübter Beobachter bei strenger Fixation, dann auf das Auftreten deutlichen Kontrastes gleich im Anfange der Beobachtung — speziell der farbigen Schatten bei Aufdecken der zweiten Lichtquelle — und bei so geringer Sättigung der induzierenden Farbe, dass ein farbiges Nachbild überhaupt nicht zu erhalten ist, weiter auf den Kontrast in Nachbildern mit ganz scharfen Kon-

[1]) In besonders markanter Weise hat sich Hering (90) jüngst über dieses Verhalten geäussert: „Auf die Zustandsänderung, welche ein Element des somatischen Sehfeldes unter der Einwirkung eines z. B. blauen Lichtes erfährt und an welche sich die blaue Empfindung knüpft, antwortet das ganze somatische Sehfeld mit einer gegensinnigen Änderung, welche der gegenfarbigen, also gelben Empfindung entspricht, und jedes andere jetzt die Netzhaut treffende Licht wirkt infolge dieser chromatischen Umstimmung des somatischen Sehfeldes so, als hätte es einen positiven Zuwuchs an gelber Valenz bezw. einen negativen Zuwuchs an blauer Valenz erfahren. Diese Umstimmung ist am grössten in unmittelbarer Nähe des von dem blauen Lichte alterierten Sehfeldelements und nimmt ab mit der Entfernung von demselben" (p. 552). Hering verweist auch darauf, dass infolge dieser Umstimmung die Farbigkeit eines satten Eindruckes durch wachsende lokale Zumischung von weissem, bezw. kontrastiv gelbvalenten Lichte so ausserordentlich schnell vernichtet wird.

turen. Speziell konstatierte Aubert (3, p. 290, 4a, p. 383) als erster, dann Mach (111) und A. M. Mayer (119, p. 10 ff.) das Auftreten der Kontrasterscheinungen auch bei momentaner Beleuchtung mittelst des elektrischen Funkens, ebenso Rollett (143, 150) an einer tachistoskopischen Vorrichtung. Auch im Nachbilde nach momentaner Reizung ist Simultankontrast zu beobachten; für die komplementäre Phase im Nachbildverlaufe hat dies bereits Aubert (4a, p. 383) angegeben. Im genaueren sah C. Hess (97) im Gefolge einer in der Mitte unterbrochenen Lichtlinie, welche am Auge rasch vorbeibewegt wird, einerseits hinter den hellen Teilen zuerst ein dunkles Intervall (Phase II), dann eine gegenfarbige helle Phase (III), wieder eine dunkle (IV) und nochmals eine helle gleichfarbige (V) und endlich nochmals eine dunkle (VI). Andererseits zeigten sich aber folgende Kontrasteffekte im Gefolge der Unterbrechungsstelle: ein mässig helles, angenähert gleichfarbiges Nachbild („Kopf" benannt) entsprechend dem Ende von Phase II und eventuell auch der Dauer von Phase III, hierauf entsprechend Phase IV ein heller, zum Reizlichte im allgemeinen gegenfarbiger Streif („Komet" etwa $^1/_4$—$^1/_2$" nach der primären Reizung der Nachbarschaft beginnend), endlich entsprechend Phase V ein dunkler Streif. Diese Erscheinungsform des Simultankontrastes gilt auch für den zentralen Netzhautbezirk, in welchem nach der interessanten Entdeckung von G. Hess (96, p. 241, 97, p. 11, 98) Phase III etwas später eintritt und relativ kürzer dauert; die Dunkeladaptation ist darauf ohne wesentlichen Einfluss.

Schliesslich sei hier der Angabe Charpentiers (25) gedacht, dass die Reizschwelle an derselben Netzhautstelle bei sonstigem Lichtabschluss und bei Erzeugung von Kontrastschwarz daselbst durch Lichtreizung der Nachbarschaft nicht verschieden sein sollte. Hiegegen sprechen aber schon die leicht zu bestätigenden Angaben Brewsters (13, p. 490) und H. Meyers[1]) (122, p. 560), sowie die früher erwähnte Beobachtung Auberts (4a, p. 354), dass alle matt sichtbaren Objekte in einem abgedunkelten Zimmer infolge der ausgedehnten Kontrastwirkung unsichtbar werden, sobald das Überspringen eines elektrischen Funkens gesehen wird.

---

[1]) „Befindet sich die Netzhaut unter dem Einflusse eines sehr starken Lichtes, so wird die Farbe eines jeden Gegenstandes, der sich auf derselben abmalt, entweder verändert oder geschwächt, obwohl das Bild nicht auf einem Teil der Netzhaut gebildet ist, der direkt von dem starken Licht getroffen wird." (Brewster.) — „Ist ein Teil der Netzhaut stark gereizt, so verliert der anliegende Teil in seiner Empfindlichkeit. Diese Unempfindlichkeit erreicht ihr Maximum dicht bei dem beleuchteten Fleck und nimmt mit der Entfernung von diesem ab. Mässig erleuchtete Gegenstände verschwinden wirklich in der Nähe der stark erleuchteten Portion." (H. Meyer.)

B. Zeitlicher Verlauf der Kontrastwirkung; gleichfarbige und Lichtinduktion.

Ähnlich wie die primäre Erregung erst nach einer allerdings sehr kleinen Zeit der Einwirkung des Reizes ihr Optimum erreicht (S. Exner [45]) und von diesem infolge eintretender Adaptation allmählich absinkt, zeigt auch die von der ersteren induzierte, sekundäre Erregung das Phänomen eines relativ sehr raschen Anklingens und zwar ist die zum Deutlichwerden der Kontrastfarbe erforderliche Reizdauer nach A. M. Mayer (119) dieselbe, bei welcher die induzierende Farbe eben sichtbar wird z. B. $\frac{1}{8380}$ bezw. $\frac{1}{1600}$ Sekunde.

Andererseits hat E. Hering (70, § 15—17, § 32—33) schon 1873 ein besonderes bedeutsames Gesetz des zeitlichen Verlaufes der Kontrastwirkung festgestellt. Auf dasselbe hat er auch später wiederholt und nachdrücklich hingewiesen (81, p. 10; 82, p. 363; 83; 76, p. 165; 85, p. 239; 86, p. 28, vergl. auch Kuhnt [107]). Hering zeigte, dass jeder reine simultane Kontrasteffekt zu Anfang der Beobachtung (von der sehr kurzen Phase des Anklingens abgesehen) am deutlichsten ist und nur kurze Zeit unter rascher Abnahme deutlich bleibt. Die frühere gegenteilige Meinung ist zurückzuführen auf das Hinzutreten von Successivkontrast oder negativen Nachbildern infolge von Blickschwankungen, speziell beim Ungeübten.

Bei länger fortgesetzter Fixation tritt an den dunklen Stellen des Sehfeldes Erhellung, subjektives Licht[1]) — an den hellen Verdunkelung auf. In analoger Weise verschwindet bei längerem Fixieren die Kontrastfarbe und schlägt schliesslich in das Gegenteil um, also in eine mit der kontrasterregenden Farbe gleiche Farbe[2]). Diese Erscheinung wurde von Hering als simultane farblose oder farbige Lichtinduktion bezeichnet. Bei Benützung einer farblosen Scheibe auf farbigem Grunde breitet sich nach Ablauf der Kontrastphase ein gegenfarbiger Schein auf der Scheibe aus, der diese allmählich überzieht und zunächst mehr und mehr an Sättigung gewinnt. Schliesslich verschwimmen Scheibe und Grund ineinander. Die vorgenannte Erscheinung besteht auch dann fort, wenn wir die Augen schliessen und mit den Händen verdecken — successive farblose oder farbige Lichtinduktion, bezw. negatives Nachbild des Objektes auf dem nunmehr gegensätzlich erscheinenden Grunde.

---

[1]) Die subjektive Helligkeit negativer Nachbilder schwarzer Objekte auf weissem Grunde wurde von Hering auch mit einer objektiven Helligkeit verglichen. Er konstatierte, dass das durch Induktion erzeugte „Eigenlicht" in günstigen Fällen sogar heller ist als ein objektives, von einer ausgeruhten Netzhautstelle empfundenes Licht (70, § 6 und 16).

[2]) Dass sich all die von ihm angegebenen Kontrast- und Induktionsversuche ins Farbige übersetzen lassen, hat Hering bereits 1873 (70, § 20) betont.

Es kommt also bei längerer Betrachtung sozusagen zum Hervortreten des negativen Nachbildes oder des Successivkontrastes noch während der Fixation des Objektes selbst. Besonders begünstigend hierfür wirkt nach Hering eine plötzliche Minderung der Beleuchtung. Darauf, dass sich das Nachbild bereits während der Beobachtung entwickele, hat schon Aubert (4a, p. 347; vergl. auch Helmholtz [66] I. p. 401, II. p. 554) hingewiesen.

Eine reine Beobachtung und speziell die Feststellung des zeitlichen Verlaufes der simultanen Kontrastwirkung unter Ausschluss des Successivkontrastes ist demnach, wie Hering (81, p. 20—21) betont, nicht so ohne weiteres und ohne besondere Einrichtung der Versuche möglich. Erstens ist Festhalten des Blickes erforderlich, zweitens Ausnützen der ersten Momente des Erscheinens der induzierenden Farbe und kurze Dauer der Beobachtung notwendig. „Der reine Simultankontrast ist immer anfangs am deutlichsten und nimmt um so mehr ab, je länger die fixierende Betrachtung währt" (80, p. 184). Soll sich die Kontrastfarbe mit der Zeit scheinbar stärker entwickeln, so muss der successive Kontrast mitwirken, d. h. der Blick schwanken[1]). „Der successive Kontrast kommt nämlich nicht nur dann wesentlich in Betracht, wenn eigentliche Nachbilder entstehen, sondern entfaltet auch schon beim flüchtigsten Wandern des Blickes seine Wirkung" (81, p. 20—21).

Das Verhalten der simultanen und successiven farbigen Lichtinduktion wurde eingehend von Kuhnt (107) unter Herings Leitung studiert. Er fand bei Verwendung farbloser Scheiben auf mässig beleuchtetem farbigen Papier oder Glas, dass auf rot und grün die Kontrastwirkung mehrere Sekunden dauert, auf gelb und blau nur momentan, kaum wahrnehmbar ist. Dann folgt farbige Induktion, durch mehrere Sekunden zunehmend. Mitunter ist ein Wiederauftauchen der Konstrastfarbe für Momente zu beobachten (p. 7). Schliesslich geht die Scheibe unterschiedslos in die Farbe des Grundes auf. Nur bei Anwendung blauen Papieres fehlte eine Kontrastphase völlig, die Scheibe zeigte sofort zunehmende Blaufärbung. Kuhnt gelangt zu dem Schlusse: „jede Farbe induziert bei genügend langer Fixation die gleiche Farbe simultan auf ein farbloses Feld" (p. 18). Bei Anwendung farbiger Lichter kommt übrigens im allgemeinen neben der farbigen auch die farblose Lichinduktion in Betracht.

Hierher gehörige Erscheinungen sind bereits von einer Reihe älterer Autoren beschrieben worden. Zuerst bezeichnete Brücke (15) folgende Beobachtungen als „gleichfarbige Induktion". Er sah, dass eine schwarze

[1]) Dass das relativ rasche Verschwinden der Kontrastfärbung bei festem Anhalten des Blickes nicht den Schluss gestattet, die anfangs deutliche Kontrastfarbe sei nur die Folge eines falschen Urteils und nicht die Folge eines entsprechenden physiologischen Prozesses im Sehorgan — dies hat Hering (82, p. 364) besonders betont. Zur Illustration verwies er auf das relativ rasche Verschwinden schwacher Schatten oder Färbungen auf hellem Grunde bei strenger Fixation, bedingt durch lokale Adaptation.

Scheibe auf grünem, blauen und violetten Glase sich mit derselben Farbe überzog; auf rotem Glase erhielt er die Kontrastfarbe. Bereits vorher hatte Fechner (48, p. 442) ganz Analoges beobachtet: er sah auf der schwarzen Scheibe anfangs keine deutliche Färbung, dann aber die Farbe des Glases — jedoch mit Ausnahme eines dunkleren Randes, an dem (nicht immer) die komplementäre Farbe zu bemerken war. „Öfters zeigte sich auch auf der schwarzen Scheibe die Farbe des Glases nach einiger Dauer mit der komplementären auf eine unbestimmte Weise meliert". Helmholtz (66, I. p. 396, II. 549) und Aubert (4a, p. 386) erhielten ausnahmslos schon nach kurzem Fixieren das erstere Ergebnis: der letztere sah die Scheibe anfangs farblos, dann zunehmend farbig u. zw. am sattesten in der Mitte. Für Helmholtz blieb eventuell der Rand der schwarzen Scheibe kontrastiv gefärbt. Ein weisses Scheibchen vor sattfarbigem Hintergrund zeigt, Helmholtz (66, II. p. 548) zufolge, nach anfänglichem, nur undeutlichen Auftreten der Kontrastfarbe gleich darauf schwach angedeutet die dem Grunde gleichnamige Farbe, oft fleckweise verteilt zwischen Stellen, welche noch die Kontrastfarbe aufweisen. — Zu analogen Resultaten wie Kuhnt war bereits vorher Rollett (149) gelangt. Bei starker Beleuchtung fand er die Scheibe anfangs dunkel ohne bestimmte Farbe, dann aber zunehmenden Überzug mit der Glasfarbe (p. 425). Bei schwacher Beleuchtung hingegen war „ohne Ausnahme eine Zeit zu erhalten, wo man auf der schwarzen Scheibe geraume Zeit die Komplementärfarbe des Glases wahrnimmt, welche aber bei längerem Fixieren immer schwächer wird und schliesslich in eine Nüance der Farbe des Glases umschlägt" (p. 426). Für blaues Glas hingen die Erscheinungen ganz besonders von der Stärke der Beleuchtung ab: sie waren in der Abenddämmerung immer ganz anders als am hellen Tage (p. 430).

Die Erscheinungen der gleichfarbenen Induktion suchte Brücke auf „positive Erregungszustände der Netzhaut" — gewissermassen eine physiologische Irradiation im Sinne Plateaus — zurückzuführen, während er für den Simultankontrast eine psychologische Begründung, eine Urteilstäuschung annahm. Helmholtz (66, I. p. 400 — 401, II. 555) wies auf die Lichtzerstreuung im Auge als vermutliche Ursache hin, eine Erklärung, die jedoch Aubert (4a, p. 386) bezweifelte, da die farbige Induktion gerade in der Mitte der Scheibe am stärksten sei. Von Hering (81, p. 27) und Kuhnt (107) wurde die Tatsache und Bedeutung der nicht unerheblichen Lichtzerstreuung, zumal bei höheren Beleuchtungsgraden, sehr wohl gewürdigt. Die Erscheinungen der reinen Lichtinduktion sind jedoch, wie die genannten Autoren betonen, nicht physikalisch zu erklären, sondern physiologisch — gleich den Phänomenen der successiven Lichtinduktion oder der negativen Nachbilder, die sich eben schon während der fortgesetzten Beobachtung entwickeln und manifestieren. Die durch die Kontrastwirkung gesteigerte Assimilierung an der betreffenden „Netzhautstelle" bringt nach Hering (70, § 33, Erklärung der simultanen und

successiven Lichtinduktion) eine erhöhte Dissimilierungs-Erregbarkeit mit sich, die sich bei der fortschreitenden Abnahme des Assimilationsprozesses selbst (infolge von Adaptation oder sog. Ermüdung, vgl. § 35) schliesslich in einer gegensätzlichen Stoffwechselphase, also in konsekutiver Dissimilierung äussert. — Allerdings wird das Schwinden der Kontrastphase, das Auftreten und die Sättigung der simultanen Induktionsphase durch das diffus zerstreute Licht begünstigt (Kuhnt [107] p. 16). Ja, die Kontrastphase und die reine simultane Lichtinduktion können durch starke Lichtaberration gestört und verdrängt werden. Es verrät sich dies, wie Kuhnt (p. 13 und 22) bemerkt, am Nachbildverlaufe. Die auf blauem Glase sofort blau erscheinende Scheibe gab ein hellgelbes Nachbild auf tief grün-gelbem Grunde, welches erst nach öfterem Verschwinden und Wiederauftauchen schliesslich in hellblau umschlug. Einfache Lichtinduktion müsste, nach Ablauf der Gelbfärbung durch simultanen Kontrast, eine blaue, im Nachbild fortbestehende Färbung ergeben. — In zahlreichen älteren Beobachtungen, zumal wenn höhere Beleuchtungsstufen in Anwendung kamen, ist die sog. gleichfarbige Induktion ganz wesentlich auf einfache Lichtaberration zu beziehen. Eine Zurückführung der gleichfarbigen oder isochromatischen Induktion überhaupt auf blosse Lichtzerstreuung im Auge hat M. Blix (11) mit Unrecht versucht. Andererseits hat Dobrowolsky (37) gegenüber der Theorie von E. Fick (54, vgl. auch die Bestätigung durch E. v. Brück [19] und den Widerspruch seitens Charpentier [24]), dass sich die Netzhautelemente bei der Farbenempfindung unterstützen, in zutreffender Weise auf die Rolle der Lichtzerstreuung hingewiesen. — Erscheinungen von simultaner Lichtinduktion hat auch A. Charpentier (26) beschrieben: er fand dabei in der betreffenden Netzhautregion die Reizschwelle erhöht. Das Auftreten farbiger Höfe in der Farbenfolge des Spektrums um Lichtpunkte bei momentaner Sichtbarkeit deutet er als Ausdruck einer von der Bildstelle sich ausbreitenden „irradiation ondulatoire".

Für die indirekte oder Kontrasterregbarkeit besteht ebenso gut wie für direkte oder Lichterregbarkeit das Vermögen der Adaptation (vgl. Hering [70] § 33, 35).

C. Regionale Verschiedenheiten der Kontrastwirkung.

Man kann sich leicht davon überzeugen, dass die farblose wie die farbige Kontrastwirkung im indirekten Sehen eine relativ stärkere ist als im direkten. Hierauf hat bereits L. Hermann (91) hingewiesen gelegentlich der Beobachtung, dass die Stäbe einer weissen Gitterzeichnung auf schwarzem Grunde an den Kreuzungspunkten minder hell erscheinen: dieses Verhalten sei zwar im indirekten, nicht aber im direkten Sehen deutlich.

D. Adaptationszustand und Kontrastwirkung.

Ein Einfluss des Adaptationszustandes auf die Kontrastfunktion ist zweifellos. Allerdings ist dieses Verhalten bisher nur in bezug auf den Farbenton bei farbigem Kontraste untersucht worden. Über dessen Abhängigkeit von der jeweiligen chromatischen Stimmung wird gleich später (Alinea F) gehandelt werden. Was die reine Hell-Dunkeladaptation oder Änderung der Weisserregbarkeit anlangt, so kommt nach Lichtabschluss einem bestimmten Lichtreize sowohl ein absolut gesteigerter Weisseffekt und damit eine Minderung der relativen farbigen Valenz, als auch ein grösserer indirekter Schwarzeffekt zu und damit eine Minderung des relativen farbigen Kontrasteffektes; mit der Verteilung der relativen Weissvalenzen im Spektrum ändern sich natürlich auch die relativen kontrastiven Schwarzeffekte. Eine systematische Untersuchung des Einflusses der Hell-Dunkeladaptation auf die Grösse, die Ausdehnung und den zeitlichen Verlauf des Helligkeitskontrastes ist mir nicht bekannt.

E. Massgesetze und Bedingungen des Kontrastes[1]).

1. Helligkeitskontrast.

Bezüglich des simultanen Helligkeitskontrastes handelt es sich um das Gesetz, nach welchem die subjektive Helligkeit einer messbar beleuchteten kleinen Fläche sich ändert, wenn diese Fläche auf einem Grunde von wechselnder, messbarer Beleuchtung gesehen wird.

Diese Gesetzmässigkeit wurde zuerst mehr gelegentlich bei einer Untersuchung über das Webersche Gesetz von Alfred Lehmann (109), dann speziell von Ebbinghaus (42) studiert. Allerdings war bei deren Versuchen infolge der Beobachtung mit wanderndem Blick der Successivkontrast nicht ausgeschlossen; auch gestatteten ihre Methoden keine ausgiebige und rasche messbare Änderung der Beleuchtungsintensität.

A. Lehmann benützte nebeneinander einen variierten Kontrastgrund und einen fixen Vergleichsgrund aus weissem Papiere, welches in verschiedenem Masse mit verdünntem Schwarz bestrichen und von Petroleumlampen aus konstanter Entfernung beleuchtet war. Innerhalb jedes Grundes war ein Ausschnitt, das variierte Kontrastfeld und das fixe Kontrastfeld, angebracht und durch eine schwarz-weisse Kreiselscheibe ausgefüllt. Die Beobachtung geschah mit wanderndem Blick und ausgeruhtem d. h. relativ dunkeladap-

---

1) Ich gebe die Kontrastgesetze hier in einer von mir gewählten Fassung, welche von jener der einzelnen Autoren zum Teil nicht unerheblich abweicht.

tiertem Auge. Lehmann kam zu dem Schlusse, dass sowohl der positive wie der negative Kontrast bei einem konstanten Verhältnisse zwischen der Beleuchtung des Grundes und jener des Feldes (etwa 4,76) ein Maximum erreiche.

Ebbinghaus betrachtete abwechselnd (Vergleichsdauer höchstens zwei Sekunden) nebeneinander eine Vergleichstafel mit einer aufgeklebten Vergleichsscheibe vom selben Grau (aus einer Serie von 53 Graupapieren) und je eine der zahlreichen Kontrasttafeln mit aufgeklebter Kontrastscheibe. Es wurde mit relativ helladaptiertem Auge jene ermittelt, für welche Helligkeitsgleichheit der beiden Scheiben bestand. Ebbinghaus formulierte die Ergebnisse seiner Untersuchung in folgende Sätze. Die Kontrastaufhellungen (d. der kontrastive Helligkeitszuwachs z der Scheibe auf dem minderhellen Kontrastgrunde) sind proportional den Differenzen der beiden kontrastierenden Beleuchtungsintensitäten, unabhängig von deren absoluter Grösse. Nach der Formel $+ z = k$ (Kontrastfeld — Kontrastgrund) $= \frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{5}$ (l — L). — Hingegen seien die Kontrastverdunkelungen (d. h. die kontrastive Helligkeitsminderung der Scheibe auf hellerem Kontrastgrunde) proportional dem Produkte aus der Differenz und dem Quotienten der beiden kontrastierenden Beleuchtungsintensitäten — also abhängig von deren absoluter Grösse. Nach der Formel: $- z = k'$ (Kontrastfeld — Kontrastgrund) $\times \frac{\text{Kontrastfeld}}{\text{Kontrastgrund}} = \frac{3}{10}$ (l — L) . $\frac{l}{L}$. Die Konstanten der Proportionalität k $\left(\frac{1}{4}\right.$ bis $\left.\frac{1}{5}\right)$ und k' $\left(\frac{3}{10}\right)$ für die beiden Fälle seien bei einem und demselben Individuum im allgemeinen etwas verschieden. Die absolut stärkste kontrastive Verdunkelung veranlasse jeder Grund auf einem Kontrastfelde von der halben Beleuchtungsintensität (L = 2 l).

Erst die sehr umfangreichen Beobachtungen von Hess und Pretori (94), welche unter Herings Leitung arbeiteten, betreffen den reinen Simultankontrast. Dem Beobachter wurde ein halbierter ausgedehnter Schirm (MgO-Schirme, Petroleumlampen) geboten, dessen beide Hälften je eine kleine Fläche bezw. einen kleinen Ausschnitt umschlossen. In jeder Versuchsreihe ist der einen Feldhälfte und dem umschlossenen Ausschnitte eine bestimmte verschiedene Beleuchtung gegeben: diese Seite dient als fixes Vergleichsmittel. Man sucht nun zu sehr verschiedenen Beleuchtungsstärken des anderen Ausschnittes jene Beleuchtung der zweiten Schirmhälfte, bei welcher die beiden Ausschnitte trotz der verschiedenen Helligkeit der beiden Feldhälften gleichhell erscheinen. Die beiden kleinen Flächen, deren jede von einer verschieden hellen grösseren Fläche umschlossen ist, werden also trotz verschiedener objektiver Beleuchtungsintensität auf gleiche subjektive Helligkeit gebracht: das eine Mal bewirkt nämlich die grössere Beleuchtungsstärke der Umgebung eine kontrastive

Verdunkelung der kleinen Fläche, das andere Mal bewirkt die geringere Beleuchtung eine relative Erhellung.

Die Untersuchung von Hess und Pretori ergab folgendes Gesetz: Eine kleine helle Fläche, welche auf einem Grunde von anderer Helligkeit erscheint, macht trotz wachsender Lichtstärke beider einen und denselben Helligkeitseindruck, wenn der Lichtzuwachs der Fläche und der Lichtzuwachs des Grundes in einem bestimmten konstanten Verhältnisse bleiben.

Hat man einmal jenen Lichtzuwachs des Grundes ermittelt, welcher durch kontrastive Schwarzerregung einen bestimmten Lichtzuwachs der Fläche subjektiv unwirksam macht, so gilt diese Kompensation auch für ein Vielfaches der beiden Zuwüchse. Diese Verhältniszahl der Zuwüchse ist also unabhängig von der absoluten Grösse der Beleuchtung[1]). Die Kontrastwirkung steigt also direkt mit dem Zuwachs an kontrasterregendem oder induzierendem Reiz.

Je nach den in jeder einzelnen Versuchsreihe zur Vergleichung konstant belassenen Lichtstärken des einen Ausschnittes und der einen Schirmhälfte war natürlich jene Verhältniszahl eine andere. Es erwies sich als im Prinzip gleichgültig, ob die beiden Schirmhälften heller waren als die Ausschnitte oder umgekehrt, sowie ob die eine Schirmhälfte relativ heller, die andere relativ dunkler war. Ist die Beleuchtungsstärke der Schirmhälfte grösser als jene des Ausschnittes, so besteht innerhalb desselben kontrastive Verdunkelung, im anderen Falle relative Erhellung; beide Effekte folgen aber demselben Gesetz. Von dem kontrastiven Einflusse der beiden Grundhälften aufeinander, sowie von dem relativ geringen Einflusse jeder Schirmhälfte auf den Ausschnitt der anderen Seite muss natürlich bei diesen Versuchen abgesehen werden.

Bei Untersuchungen über das Webersche Gesetz ist Ch. Henry (69) zu dem Schlusse gelangt: die Helligkeitsminderung eines Feldes durch Kontrast seitens des hellen Grundes — verglichen mit dem Felde auf lichtlosem Grunde — entspreche dem Doppelten der Quadratwurzel der Beleuchtung des Grundes.

Von den verschiedenen angeführten Massgesetzen des simultanen Helligkeitskontrastes ist meines Erachtens das von Hess und Pretori gefundene am besten begründet. Zudem ergibt eine genauere Analyse das interessante und befriedigende Resultat, dass erstens die Zahlen von Lehmann für kontrastive Erhellung, wie bereits Ebbinghaus (42, p. 1001) gefunden, mit den Daten

---

[1]) Es machen also den gleichen Eindruck:
i umgeben von J,
$i + i_1$ umgeben von $J + J_1$,
$i + n \times i_1$ umgeben von $J + n \times J_1$.
$\frac{J_1}{i_1} = c$, ein konstantes charakteristisches Verhältnis.

und der Formel von Ebbinghaus selbst gut übereinstimmen ($+ z = [k l - L]$, k berechnet Ebbinghaus für Lehmann zu 0,226, für sich fand er $k = 0{,}2$ bis 0,25). Zweitens finde ich, dass der Satz von Ebbinghaus für den Helligkeitszuwuchs durch Kontrast tatsächlich mit dem Gesetze übereinstimmt, welches später Hess und Pretori gefunden haben[1]). Für die kontrastive Erhellung darf also von einer wesentlichen Übereinstimmung aller bisherigen Untersuchungen gesprochen werden.

Allerdings nicht so von den Beobachtungen über kontrastive Verdunkelung. Doch hat der Befund von Hess und Pretori, dass für dieselbe das gleiche Gesetz gilt wie für die kontrastive Erhellung, die weitaus grösste Wahrscheinlichkeit allgemeiner Geltung für sich. Auf einen störenden Faktor in der Methodik bei Lehmann (gleichzeitige Sichtbarkeit eines dritten Grundes) hat bereits Ebbinghaus aufmerksam gemacht. Zudem sei daran erinnert, dass nur Hess und Pretori mit fixiertem Blick, also den reinen Simultankontrast, beobachteten, sowie dass Lehmann, Hess und Pretori, ebenso Henry mit relativ dunkeladaptiertem, Ebbinghaus mit relativ hell adaptiertem Auge arbeiteten.

Es würde zu weit führen, die Rolle des Simultankontrastes bei der Untersuchung des Weber-Fechnerschen Gesetzes zu behandeln (vergl. Hering [70] § 29, § 25 und [71]; ferner K. Lehmann [109], H. Neiglick [127], Wundt [179 und 178] I. Bd., p. 459 ff. und Ebbinghaus [42]).

---

[1]) Um nämlich das Kontrastfeld bei wechselnder Beleuchtung des Grundes immer wieder gleich hell wie das konstante Vergleichsfeld erscheinen zu lassen, muss die Beleuchtung des Kontrastfeldes entsprechend geändert werden. Die Summe von Beleuchtungsstärke des Kontrastfeldes und seinem kontrastiven Helligkeitszuwachs muss nämlich gleich bleiben der konstanten Beleuchtung des Vergleichsfeldes: also Feldlicht + Zuwachs = Vergleichslicht. Ebbinghaus findet nun die Formel für den kontrastiven Zuwachs = k (Feldlicht — Grundlicht), $+ z = k (l - L)$, wobei $k = \frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{5}$ ist. — Wenn bei Feldlicht l und Grundlicht L der Zuwachs $z = k (l - L)$ ist, so ist $l + z = l + k (l - L)$ = Vergleichslicht V und ebenso für andere entsprechende Werte von Feldlicht und Grundlicht der Zuwachs z' und somit $l' + z' = l' + k (l' - L')$ = Vergleichslicht V. Daraus folgt aber:

$$l + z = l + k (l - L) = l' + z' = l' + k (l' - L') \qquad k (l - L - l' + L') = l' - l$$

$$\frac{L' - L}{l' - l} = \frac{1 + k}{k} = c.$$

Das heisst aber nichts anderes als: um das Kontrastfeld in einer Versuchsreihe dauernd gleichhell erscheinen zu lassen, muss der Beleuchtungszuwachs des Grundes (L' — L) und der Beleuchtungszuwachs des Kontrastfeldes (l' — l) in einem konstanten Verhältnisse erfolgen. (Diese Konstante gilt allerdings nur für eine bestimmte Versuchsreihe.) Bei Hess und Pretori ist dieser Satz folgendermassen ausgedrückt:

$$l = i \qquad L = J$$
$$l' = i + n \cdot i_1 \qquad L' = J + n \cdot J_1$$
$$\frac{L - L'}{l - l'} = \frac{n \cdot J_1}{n \cdot i_1} = \frac{J_1}{i_1} = c.$$

Anhangsweise sei hier auch der Untersuchung von A. Kirschmann (103) gedacht über den Einfluss der Ausdehnung des kontrasterregenden Feldes auf die Grösse des Kontrastes. Er schliesst aus seinen Versuchen, dass die Grösse des simultanen Helligkeitskontrastes (wahrscheinlich auch des Farbenkontrastes) proportional wächst mit der linearen Ausdehnung oder der Quadratwurzel aus dem Flächeninhalt des induzierenden Feldes. Die Beziehung zwischen Ausdehnung und Intensität des kontrasterregenden Lichtes sei eine reziproke.

2. Farbenkontrast.

Um den Farbenkontrast auf einem sogenannten farblosen Felde deutlich wahrnehmbar zu machen, muss die Helligkeit des letzteren passend gewählt sein, wie dies bereits Fechner (43, spez. p. 436) experimentell zeigte. Wenn diese Bedingung für optimale Kontrastwirkung erfüllt ist, genügt schon ein recht geringer Sättigungsgrad der Reizfarbe, um eine deutliche Kontrastfarbe zu induzieren. Zumal wenn zugleich den weiteren Bedingungen: Ausschalten der kleinen Ungleichmässigkeiten des Papiers, des sogenannten Korns (vgl. Hering [81] p. 3 ff. und p. 26), und trennender Konturen entsprochen wird. Die oben bezeichnete Erfahrung machte bereits H. Meyer (123) mittelst der Florkontrastmethode, dann Aubert (4a, p. 383, 4b, p. 548) an Maxwellschen Kreisscheiben und am Simultankontrast im Nachbilde, desgleichen Rollett (151, p. 25); auch an den farbigen Schatten ist dieses Verhalten augenfällig. — Ebenso wie der Farbentüchtige bemerkt auch der partiell Farbenblinde, so speziell der Gelbblaublinde, oft schon die Kontrastfarbe, wo die induzierende Farbe noch untermerklich ist (Hering [89] p. 322). Andererseits verrät sich ein schwacher Farbensinn auch durch die geringere Merklichkeit der Kontrastfarben die nach Chevreul (32), Stilling (162), H. Cohn (34), Mauthner (118) und Hering (82, p. 366, 87) ein vortreffliches Mittel abgeben, um die Stärke des Farbensinnes zu prüfen. — Dass die farblose simultane Kontrastwirkung dem total farbenblinden Sehorgan in analoger Weise zukommt wie dem farbentüchtigen, haben speziell Hess und Hering (95, p. 124—125) durch einige Experimente dargetan (Verschiedenhell-Erscheinen eines konstant schwach durchleuchteten Loches auf einem Grund von variabler Intensität).

Aus der Tatsache, dass schon eine relativ geringe farbige Erregung eine gegensätzliche Seitenwirkung erkennen lässt, ist natürlich nicht umgekehrt der Schluss zu ziehen, dass eine relativ starke, satte farbige Erregung dies in geringerem Grade vermöchte — eine Anschauung, welche einst auch Helmholtz (66, I. p. 392) mit den Worten vertrat: „Der Simultankonstrast zeigt sich gerade bei schwachen Farbenunterschieden des induzierenden und des induzierten Feldes am deutlichsten". Vielmehr veranlassen auch satte

Farben unter passenden Bedingungen sehr lebhafte Kontrasteffekte. Diesen Satz hat Rollett (150, spez. p. 747, 752) bewiesen durch Verwendung farbiger Glasplatten, in deren Mitte eine Scheibe von Matt- oder Rauchglas, also ein variables sog. farbloses Licht eingelassen war; er fand ferner, wie zuvor schon Fechner (48, p. 436), für jedes farbige Licht von bestimmter Intensität, bezw. für jeden farbigen Eindruck von bestimmtem Farbenton, bestimmter Sättigung, Nüance und Helligkeit eine bestimmte mittlere Lichtintensität des Zentralfeldes, sozusagen ein bestimmtes Grau als Optimum für die Konstrastwirkung (vgl. auch O. N. Rood [152], p. 261, A. Kirschmann [103] und A. M. Mayer [119]).

Gegenüber der älteren Anschauung von Helmholtz[1]) zeigte Hering (84, p. 136 u. 81 p. 27—29) durch eine systematische Untersuchung, dass bei zweckmässiger Wahl der „Helligkeit" des farblosen Lichtes die Konstrastwirkung mit dem Sättigungsgrade der konstrasterregenden Farbe wächst: Die „Sättigung" wurde u. a. variiert durch Zuspiegeln weissen Lichtes mittelst einer unter 45° geneigten Glasplatte[2]). Eine Bestätigung des angeführten Satzes ergaben die messenden Kreiselversuche von Pretori und Sachs. (141). — Schon vorher war A. Kirschmann (103), allerdings ohne gesonderter Änderung von weisser und farbiger Valenz (s. später), zu dem Schluss gekommen: der simultane Konstrast zwischen einem farbigen Eindrucke und einem Grau von gleicher Helligkeit wächst mit der Sättigung der induzierenden Farbe, jedoch nicht proportional, sondern in geringerem Masse, wahrscheinlich in einem logarithmischen Verhältnisse.

Am eingehensten haben Pretori und Sachs (103) unter Herings Leitung die Massgesetze des farbigen Simultankontrastes studiert. Sie fussen dabei auf der Heringschen Lehre von der doppelten Wirkung farbiger Lichter auf unser Sehorgan. Dieser zufolge hat jede farbig erscheinende Strahlung, gleichgültig ob sie, gemischt oder homogen ist, neben der eigentlichen farbigen Reizwirkung noch einen farblosen Effekt: Dem sog. farbigen Lichte kommt farbige und weisse Valenz zu[3]). Der Lichtreiz besitzt keine direkte Schwarzvalenz. Nur durch das

---

[1]) Dieselbe wurde von B. Schmerler (157) wieder aufgenommen. Der letztere untersuchte mittelst Farbenkreisels (Kontrastring) den Einfluss der „Sättigung" d. h. der Grösse des Farbensektors ohne Rücksicht auf den gleichzeitig geänderten farblosen Helligkeitskontrast. Er bezeichnete als Optimum „eine mässige Sättigung, bei welcher der induzierte Farbenton zwar hell, aber deutlich erscheint" (p. 390, 396). Auch bemerkte er „um eine möglichst intensive Kontrastfarbe zu erhalten, muss die Helligkeit der induzierten Farbe angenähert dieselbe sein, wie die der induzierenden" (p. 389).

[2]) „Bis zu einer gewissen Grenze wächst die Deutlichkeit der Kontrastfarbe mit der Sättigung der induzierenden Farbe. Über diese Grenze hinaus ist eine Zunahme der Kontrastfarbe nicht mehr deutlich, speziell dann, wenn man keine besondere Rücksicht auf den zeitlichen Verlauf des Simultankontrastes nimmt" (Hering [81], p. 23).

[3]) Das helladaptierte farbentüchtige Auge vermag die Weissvalenz eines einzelnen farbigen Lichtes auf Grund der relativen Farbenblindheit im indirekten Sehen nur sehr un-

dauernde Vorhandensein des Eigengraus im Zentrum zeigt der Lichteffekt, also die Empfindung neben Weisslichkeit, welche durch die Weissvalenz des Lichtreizes gesteigert ist, auch Schwärzlichkeit — also gewissermassen eine endogene und eine exogene Weisskomponente und eine endogene Schwarzkomponente. Weissvalenz des Lichtes und Weisslichkeit der Empfindung sind also wohl zu unterscheiden [1])! Bei Herstellung einer farblosen Mischung aus gegenfarbigen Lichtern addieren sich die Weissvalenzen, während sich die farbigen binden oder subtrahieren [2]).

Wirken zwei verschiedene Lichtreize nebeneinander auf die Netzhaut ein, so veranlasst jeder entsprechend seiner farbigen Valenz gegenfarbige Kontrastwirkung entsprechend seiner weissen Valenz Schwarzkontrast in der Umgebung. Zwischen einem farbigen „kontrasterregenden" Felde und einem sog. farblosen „kontrastleidenden" Felde besteht also neben dem farbigen Kontraste im allgemeinen auch ein farbloser Helligkeitskontrast — und zwar so lange als die Weissvalenz des kontrastleidenden Feldes nicht gerade der Schwarzinduktion seitens der Weissvalenz des kontrasterregenden Feldes gleich ist. Die Merkbarkeit der Farbe im kontrastleidenden Felde, also die Sättigung der Kontrastempfindung erscheint demnach abhängig von dem Verhältnisse der eigentlichen Kontrastfarbe zur Gesamtempfindung, speziell von dem Verhältnisse des farbigen

---

vollkommen zu bestimmen: einerseits ist ein Einfluss der eben nicht merkbaren Farbe auf die Helligkeit des Eindruckes nicht ausgeschlossen, andererseits erweisen sich farblose optische Gleichungen und damit die relativen Weissvalenzen verschiedenartiger Lichter auch innerhalb des extramakularen Gebietes von der Netzhautregion abhängig (Tschermak 166). Im Zustande vorgeschrittener oder gar vollendeter Dunkeladaptation vermag das Auge die relativen Weissvalenzen verschiedener Lichter auf Grund des sogenannten farblosen Intervalls sehr wohl zu bestimmen (Methode von E. Hering). Doch erweisen sich farblose optische Gleichungen und damit die relativen Weissvalenzen verschiedenartiger Lichter als vom Gesamtadaptationszustande des Sehorgans abhängig, nicht so von der Lichtstärke an sich (Tschermak 165). Die farblos erscheinenden Gleichungen Rot = Grau, Grün = Grau des helladaptierten Rotgrünblinden sind allerdings reine Weissvalenzbestimmungen für dessen Auge (neutrale chromatische Stimmung vorausgesetzt. — Die Werte der relativen Weissvalenzen bei Pretori und Sachs gelten für den Zustand absoluter Dunkeladaptation des Farbentüchtigen und für das damit wesentlich übereinstimmende Sehen des hell- oder dunkeladaptierten Totalfarbenblinden (E. Hering). Die Differenzen gegenüber den zu vermutenden Werten für den Hellzustand des Farbentüchtigen sind übrigens bei Pigmentlichtern, wie sie Pretori und Sachs verwendeten, jedenfalls nicht sonderlich bedeutend. Die von den genannten Autoren gefundenen Gesetze behalten also auch gegenüber der Lehre von der regionalen und der adaptativen Abhängigkeit der Weissvalenzen (Tschermak [170] bes. p. 792 ff.) ihre angenäherte Gültigkeit

[1]) Dies sei gegenüber einem nicht seltenen Missverständnisse, z. B. bei G. Martius (Beitr. z. Psych. u. Philos. Bd. I. H. 1. p. 88. 1896) nachdrücklich betont.

[2]) Ich habe mit Rücksicht auf das letztere Verhalten die Heringsche Theorie der Gegenfarben als Subtraktionstheorie den verschiedenen Additionstheorien, seien sie Dreifarben- oder Dreifaser- bezw. Dreikomponentenlehren gegenübergestellt (170, p. 782 ff.).

biger Kontrastwirkung ein Plus an Kontrastschwarz oder farbloser Kontrastwirkung wett.

Bezüglich der Grösse der Kontrastwirkung und der „Helligkeit", besser Weissvalenz des kontrastleidenden Feldes ergab sich, dass — bei Konstanz des kontrasterregenden Lichtes überhaupt und bei Steigerung der Weissvalenz des kontrastleidenden Feldes von „Null" ab — die Merkbarkeit oder Sättigung der Kontrastfarbe wächst, bis die Weissvalenz einen gewissen optimalen Wert erreicht hat. Schon Rollett (150, p. 747) hatte im Anschlusse an Fechner (48, p. 436) bemerkt, dass die Komplementärfarbe über der farblos beleuchteten Netzhautpartie sich erst entwickelt, wenn der auf dieselbe wirkende Lichtreiz zu einer bestimmten Intensität anwächst. — Das oben erörterte Verhältnis dieses Optimums zur Weissvalenz haben Sachs und Pretori nicht speziell untersucht.

2. Weiterhin wurde im kontrasterregenden Felde der farbige Sektor konstant gehalten, hingegen der weiss-schwarze in der Reihe der Versuche geändert. Im kontrastleidenden Felde blieb der durch Kontrast zu entfärbende Sektor konstant und wurde, in jedem Einzelversuche von „Reinschwarz" ausgehend, mehr und mehr an Weisssektor zugesetzt bis zum Eintritt der Entfärbung. — Das Ergebnis lautet: bei konstanter farbiger Valenz im kontrasterregenden Felde und bei Zunahme der Weissvalenz, also zunehmender Schwarzinduktion seitens dieses Feldes, wird dieselbe Grösse an farbiger Kontrastwirkung erst bei einer einfach proportional höheren Weissvalenz des kontrastleidenden Feldes erreicht. Die Zunahme der farblosen Kontrastwirkung schädigt also die Merkbarkeit oder Sättigung des farbigen Kontrastes in einfach proportionalem Masse.

3. Endlich wurde im kontrasterregenden Felde der farbige Sektor und der Weisssektor in einem solchen Verhältnisse vergrössert, dass die farbige Valenz und die Weissvalenz des Lichtergemisches in demselben Verhältnisse wuchsen. Im kontrastleidenden Felde blieb der durch Kontrast zu entfärbende Sektor konstant, und es wurde, in jedem Einzelversuche von „Reinschwarz" ausgehend, mehr und mehr an Weisssektor zugesetzt bis zum Eintritte der Entfärbung. — Das Ergebnis lautet: bei einfach proportionaler Steigerung der farbigen Valenz und der Weissvalenz im kontrasterregenden Felde, also bei konstanter „Sättigung" des Valenzengemisches und reiner Intensitätsänderung desselben, trat in Kreiselversuchen mit relativ unsatten Papieren und bei Steigerung von 1 auf 3 im allgemeinen keine Zunahme der Kontrastfärbung ein. In einigen Versuchen zeigte sich hingegen, dass die Grösse der Kontrastwirkung angenähert proportional wuchs mit der Intensität des kontrasterregenden Valenzgemiches und zwar bis zu einem gewissen Optimum. Ein solches Verhalten hatte bereits vorher Hering (84, p. 136) mittelst sattfarbiger Gläser erwiesen.

F. Reizfarbe und Kontrastfarbe.

Im vorstehenden wurde die induzierte Farbe des Simultankontrastes allgemein als gegensätzlich bezw. komplementär zur Farbe des primären Reizeffektes, zur „Reizfarbe" bezeichnet. Bereits E. v. Brücke (16) hat ja die wesentliche Übereinstimmung von Kontrastfarbe und Komplementärfarbe experimentell festgestellt.

Diese Gegensätzlichkeit ist jedoch unter den gewöhnlichen Beobachtungsbedingungen, d. h. für das an Tageslicht „hell"-adaptierte Auge, keine absolute oder ideale, wie wir sie — schon auf Grund der Empfindungsanalyse — zwischen Farbe und Gegenfarbe, also zwischen tonreinem, weder gelblichem noch bläulichem Rot oder Urrot und ebensolchem Grün, zwischen Urgelb und Urblau statuieren. Die meist nicht unerhebliche Abweichung der Kontrastfarbe von der Gegenfarbe war bereits W. v. Goethe (60) bekannt; ja vielleicht hinderte ihn allein diese völlig richtige Beobachtung daran, auf Grund des direkten Versuches die wahren Gegenfarben zu erkennen — auf Grund der Empfindungsanalyse wäre ihm dies allerdings möglich gewesen. So aber kam er zur Gegenüberstellung der Kontrastfarben, zur Aufstellung der „Paare einander fordernder oder korrespondierender Farben" (I. § 50, 56, 809, 810), in denen jeder Urfarbe eine Mischfarbe gegenübersteht z. B. Gelb-Violett, Blau-Orange. — Der Begründer der Lehre von den Gegenfarben, E. Hering, bemerkt ausdrücklich, dass die Farbe des simultanen sowie des successiven Kontrastes nicht immer genau das ist, was man die Komplementärfarbe zu nennen pflegt (70, § 44, 45, 46). „Die ganz genaue Gegenfarbe muss nur dann durch den Kontrast hervortreten, wenn die induzierende Empfindung eine der Grundempfindungen ist und das objektive Weiss ebenso wie die Stimmung der Netzhaut neutral ist" (83, p. 2, Anm. 1). — Der Newtonsche Farbenzirkel bei Goethe und bei Aubert (4b, p. 547, Fig. 64, § 35) zeigt die Kontrast- bezw. Nachbildfarben, nicht die Urfarben oder Gegenfarben einander gerade gegenüber, wie dies der von Hering angegebene Farbenkreis tut. Im ersteren sind Urgelb und Urgrün einander genähert, Urrot und Urblau voneinander abgerückt; im letzteren stehen alle vier Kardinalpunkte gleichweit voneinander ab, also paarweise einander gegenüber.

Das oben besprochene Verhalten ist allerdings im Successivkontraste oder negativen Nachbilde augenfälliger, zeigt sich aber schon im Simultankontraste unverkennbar — am besten bei der Beobachtung der farbigen Schatten, wie dies schon die Farbenbezeichnungen bei Joh. Müller (126, V. Buch, I. Abschn. § 3, p. 373) illustrieren. Im ersteren Falle lässt sich leicht eine zahlenmässige Charakterisierung und Vergleichung von Reizfarbe, Gegenfarbe, Kompensations- oder Komplementärfarbe und Successiv-

kontrast- oder Nachbildfarbe ausführen. Die dabei gewonnenen Resultate lassen sich dem Sinne der Differenzen nach auch zur Illustration von Reizfarbe, Gegenfarbe, Kompensationsfarbe einerseits, Farbe des simultanen Kontrastes andererseits verwerten. Wir finden dabei die Regel, dass die Farbe des Simultankontrastes, noch mehr jene des Successivkontrastes[1]), weniger hinwiederum die Kompensationsfarbe, im Sinne von Addition einer gewissen Quantität von Blaurot von der Gegenfarbe abweicht.

Es ergibt sich dies schon aus den Beobachtungen von Abney (1), welcher zur Farbe des negativen Nachbildes eines Spektrallichtes jene homogene Strahlung aufsuchte, welche angenähert denselben Farbenton hervorruft. Allerdings bleiben bei diesem Verfahren die Differenzen beider Eindrücke an Sättigung, Nuance und Helligkeit unausgeglichen und beeinträchtigen die Bestimmung. — Von diesem Mangel frei sind die unter der Leitung von Tschermak angestellten Beobachtungen A. Krauses. Derselbe stellte sich — bei vollem Tageslicht beobachtend — speziell urfarbige Reizlichter mittelst Kreisscheiben her, bestimmte in gleicher Weise die gegenfarbigen Lichter, ferner die Kompensation mit den Reizlichtern d. h. Gleichung mit dem „farblosen" Hintergrund ergebenden Lichter und verglich nun damit die Farbe des vom Reizlichte ausgelösten Simultankontrastes. Es war für die letztere, ohne zahlenmässige Charakterisierung ausgeführte Beobachtung in einem grauen Papierschirm ein Ring ausgeschnitten, durch welchen das Reizlicht durchstrahlte, während die fixierte Zentralscheibe innerhalb des Ringes, sowie die randständigen Partien des Schirmes in der Kontrastfarbe erschienen. — In anderen Versuchen wurde endlich die Farbe des Successivkontrastes zahlenmässig charakterisiert. Zu diesem Behufe wurde die Mitte zwischen zwei Löchern in einem grauen Schirm fixiert, deren eines während der Nachbilderzeugung vom Reizlichte durchstrahlt, deren anderes unterdessen durch passendes Grau ausgefüllt war. Nachher war hinwiederum das erstere in gleicher Weise abgeblendet und nahm das Nachbild auf, während nun das andere vom Vergleichslichte durchstrahlt war Es wurden also, wie von Kuhnt (107, p. 23), zwei Netzhautstellen gleicher Exzentrizität benützt. — Der eben genannte Autor hatte das Nachbild einer Grauscheibe auf farbigem Grunde mit einer Scheibe derselben Farbe auf entsprechendem Graugrund verglichen, indem er zwischen zwei Fixier-

1) Von zwei Beobachtern (einem Schüler von Brücke [15] p. 425 und Dr. Kästner-Fehmarn bei Aubert [46] p. 562) ist die Angabe gemacht worden, dass das negative Nachbild von Rot für sie nicht blaugrün, sondern violett sei. R. Hilbert (99) fand für sich die Nachbildfarbe zu verschiedenen Zeiten different. Von gelbem Petroleumlicht erhält er gewöhnlich ein dunkelblaues, an Tagen von grosser körperlicher und geistiger Anstrengung ein lichtgrünes Nachbild. — Brücke meinte: „Die bis jetzt bemerkten Unterschiede zwischen Kontrast- und Ergänzungsfarben lassen sich wahrscheinlich darauf zurückführen, dass die verglichenen Farben verschiedenen Gliedern einer und derselben Reihe entsprechen." Ergänzungsfarbe und Kontrastfarbe wären also nur durch ihre Sättigung und Nuance, nicht im Farbenton verschieden.

zeichen wechselte. Er fand — nach längerem Lichtabschlusse beobachtend — keine Unterschiede im Farbenton (vgl. später).

Für die besprochene Diskrepanz hat E. Hering (70, § 44, 45, 46) eine chromatische Verstimmung des in gewöhnlicher Weise helladaptierten Auges verantwortlich gemacht. „Das helladaptierte Sehorgan befindet sich sowohl bei natürlicher als künstlicher Beleuchtung immer mehr oder weniger in einer künstlichen chromatischen Stimmung." — Als Quellen dieses Zustandes kommen in erster Linie in Betracht die freien farbigen Valenzen des Tageslichtes. Die eigentliche „Farbe" desselben könnte dadurch im allgemeinen der Wahrnehmung entzogen sein, dass mit längerdauerndem Lichtabschluss zwar die chromatische Stimmung wieder eine neutrale wird, jedoch gleichzeitig eine erhebliche Steigerung der Weisserregbarkeit eintritt und daher bei neuerlichem Einfall des Tageslichtes die farblose Erregung ganz dominiert über die farbige. Bei geringer oder fehlender Dunkeladaptation wäre die Chance für die anfängliche Wahrnehmung der Farbe gegeben; weiterhin würde allerdings auch hier chromatische Adaptation und damit Farbloserscheinen des Tageslichtes eintreten. So könnte man manche Angaben von anfänglichem Purpursehen nach Lichtabschluss in diesem Sinne deuten[1]). Untersuchungen an Hemeralogen könnten hiefür entscheiden.

Auf der anderen Seite wird unzweifelhaft schon durch farbige Pigmente, bezw. durch elektive Absorption in den Augenmedien selbst eine chromatische Verstimmung des Sehorganes bedingt. Hier sind anzuführen: Das gelbrote diasklerale Seitenlicht (Hering, Hess), der grüngelbe bis rotgelbe Farbstoff der Linse (Hering), das grüngelbe bis rotgelbe Pigment der Makula (Hering, Sachs), event. der braune Farbstoff des Pigmentepithels und der nach Lichtabschluss angehäufte, durch das Tageslicht wenigstens teilweise verbrauchte Sehpurpur (vergl. Tschermak [170] p. 708—709).

[1]) Schon E. v. Brücke (16, p. 470) betrachtete das von sogenannt farblosem Papier reflektierte Tageslicht als eigentlich rot gefärbt, da gewisse farbige Lichter bei Zusatz unzerlegten Tageslichtes eine Farbentonänderung nach dem Rot hin zeigen (vergl. Aubert [4a] p. 136). Auch Hering (70, § 44) gibt an, dass das Tageslicht meist nicht farblos ist, seine Färbung aber je nach dem Stande der Sonne, der Bewölkung des Himmels u. s. w. verschieden ist. Er erwähnt auch, dass die durch längere Fixation eines schwarzen Papiers auf weissem Grunde veranlasste simultane Lichtinduktion häufig farbige Beimischungen zeigt, und dass der Kontrasteffekt des unzerlegten Tageslichtes häufig farbig ist. Ebenso findet Kuhnt (107, p. 12 Anm.) bei besonderen Versuchen mit relativ helladaptiertem Auge, dass bei Betrachtung einer schwarzen Sammtscheibe auf weissem Grunde im Beginne der simultanen Lichtinduktion „zumeist ein bläulichrötlicher Schimmer" zu bemerken war. — Eine rötliche Färbung des Sehfeldes nach längerem Lichtabschluss hat wohl zuerst F. Boll (12, p. 20, Anm. 2) bemerkt und als subjektive Wahrnehmung des Sehrots gedeutet. Dann beschrieb A. Ewald (44) einen roten Hof von 5—5,5 mm Netzhautfläche um den gelben Makulafleck herum, hierauf O. Haab (65) einen solchen von 3—4 mm bezw. 6—7°. Ewald bezog die Erscheinung mit Wahrscheinlichkeit auf den Sehpurpur, eventuell auf das Blut der Retinae- und Chorioidealgefässe: Haab vermutete hingegen einen mit dem Makulagelb verwandten oder identischen Farbstoff. Charpentier (65) schloss sich der Erklärung Ewalds an, andere vermuteten blossen Simultankontrast zum Gelbgrün des Makulafleckes.

Analoge Abweichungen der Kontrastfarbe, speziell der Nachbildfarbe, lassen sich erzwingen, wenn man z. B. durch längerdauerndes Tragen einer farbigen, aber die übrigen Lichter auch noch durchlassenden Brille eine chromatische Verstimmung des Sehorganes in bestimmter Richtung künstlich herbeiführt. Es zeigt sich dann eine Abweichung der Nachbildfarbe von der Gegenfarbe im Sinne von Addition einer gewissen Quantität der Ermüdungsfarbe (A. Krause und Tschermak). Diese Analogie bedarf allerdings noch weiterer systematischer Prüfung, erhärtet aber wohl schon heute die Anschauung, dass die gewöhnliche Abweichung der Kontrastfarbe von der Gegenfarbe im Sinne von Addition einer gewissen Menge Blaurot eben auf eine „natürliche" chromatische Adaptation des Hellauges für Blaurot zu beziehen ist[1]).

Nach einseitigem Lichtabschluss erweist sich das eine dunkeladaptierte Auge im allgemeinen als von deutlich anderer chromatischer „Stimmung" wie das andere helladaptierte Auge. (Hering [70] § 44, 45, 46 und C. Hess [92, 93]; vgl. auch Purkinje, Aubert, H. Cohn, Charpentier bei Tschermak [170] p. 709). Zum Vergleiche der beiden Augen bedient sich Hering — abgesehen von Doppelokularen z. B. an seinem Apparate zur Herstellung und Mischung spektraler Lichter — der einfachen Methode, den Eindruck eines Objektes durch verminderte oder vermehrte Konvergenz in Doppelbilder zu zerfällen. Er hat ferner einen besonderen Apparat zur vergleichenden Untersuchung des Farbensinnes beider Augen angegeben; Lichtermischung durch Spiegelung, Fixation der Mitte zwischen zwei durchstrahlten Löchern, deren jedes durch einen schwarzen Scheuklappenschirm für das Auge der gleichen Seite abgeblendet, für jenes der anderen Seite allein sichtbar ist (88).

C. Hess (92, 93) bezeichnet die Herbeiführung von chromatischer Neutralstimmung durch längerdauernden Lichtabschluss (nach Hering [75] p. 30) wobei allerdings die gleichzeitig eintretende Steigerung der Weisserregbarkeit mit in Kauf genommen werden muss, als eine der Bedingungen für den Nachweis der Übereinstimmung der perimetrischen Grenzen für Rot und Grün, Gelb und Blau. Im dunkeladaptierten Auge fehlt auch die Diskrepanz zwischen Gegenfarbe, und Kontrastfarbe, speziell Nachbildfarbe. Dementsprechend fand Kuhnt (107, spez. p. 23 ff.), der seinen Beobachtungen längeren Lichtabschluss vorausschickte, beim Vergleich der durch successive Induktion entstandenen Farbe mit einer objektiven Farbe (und zwar der Farbe des Grundes, auf welchem eine Grauscheibe im Vorbilde beobachtet worden war) nur geringe Unterschiede an Helligkeit und Sättigung, nicht aber im Farbenton. Durch Herabsetzung der Beleuchtung am Schlusse der Fixation konnte er sogar Sättigungsgleichheit erreichen. — Ebenso fand A. M. Mayer (119),

---

[1]) Die Verschiebung der Kardinalpunkte im Spektrum bei farbiger Adaptation hat J. v. Kries (105, 106) seinerzeit irrtümlich als Einwand gegen Herings Theorie angeführt (Hering, 79).

anscheinend nach längerem Lichtabschluss beobachtend, die Kontrastfarbe zu einem bestimmten Blau bei experimenteller Auswertung sehr angenähert gleich der Komplementärfarbe d. h. der zur Gleichung mit dem Graugrund geforderten Kompensationsfarbe (bes. p. 3).

Zwischen den beiden helladaptierten Augen desselben Beobachters bestehen nicht selten erhebliche Differenzen der chromatischen Stimmung — was mit den Methoden Herings leicht nachzuweisen — und damit auch Verschiedenheiten in der Kontrastfarbe, bezw. in der Diskrepanz dieser und der Gegenfarbe.

C. Individuelle Verschiedenheit und Pathologie der Kontrastwirkung.

Bezüglich der Grösse und vielleicht auch der Ausdehnung, sowie des Verlaufes der Kontrastwirkung scheinen individuelle Verschiedenheiten vorzukommen, wie bereits Helmholtz (66, I. 415, II. 565) vermutet. Derselbe meinte auch irrtümlich eine Abnahme des reinen Simultankontrastes durch Übung konstatieren zu können (66, I. 415, II. 564—565); allerdings kommt bei Erlernen strammer Fixation die „Unterstützung" durch den Successivkontrast in Wegfall. — Die primäre farbige Erregbarkeit der Sehelemente, ja ihre direkte Reizbarkeit für Licht überhaupt und die sekundäre oder Kontrasterregbarkeit derselben ist im Prinzip gesondert zu behandeln, speziell muss an die Möglichkeit einer Anomalie im photochemischen Reizvermittler, in den Sehstoffen bei Normalbleiben der Kontrastfunktion gedacht werden[1]). — Studien über Anomalien der Kontrastfunktion selbst sind mir nicht bekannt. Eine Abnahme der Kontrastfunktion müsste sich in erster Linie durch eine Minderung der Sehschärfe äussern, für welche weder die dioptrische noch die ophthalmoskopische Untersuchung einen zureichenden Grund auffinden liesse. — Die Lehre von der subjektiven Erscheinungsweise der Skotome als positiv oder negativ bedarf mit Rücksicht auf die Kontrastwirkung noch weiterer Bearbeitung.

---

[1]) Schon Hering bemerkt: „Zweitens wäre es denkbar, dass gewisse Mittelglieder, durch welche die Ätherschwingungen erst zu einem Reiz für die nervöse Substanz werden, abnorm fungieren oder teilweise fehlen." — Tschermak (166, p. 588—590) hat speziell folgendes hervorgehoben. „Es erscheint mir nicht überflüssig die Scheidung der Vorgänge im photochemischen Reizvermittler oder Absorptionsapparate und der Prozesse im nervösen Apparate (sensu strictiori) zu betonen, von deren mit Bewusstseinskorrelaten, Gesichtsempfindungen, ausgestatteten Gliedern Herings klassische Theorie der Gegenfarben handelt. Damit eröffnet sich auch die Perspektive auf eine besondere Gruppe von Anomalien des Licht- und Farbensinnes, welche weder im lichtleitenden, noch im nervösen Apparate begründet wären." (Vergl. auch 170, p. 796, wo einige Missverständnisse von J. v. Kries berichtigt sind).

Schliesslich sei noch kurz erwähnt, dass Krause (104) und H. Cohn (33) das Gesetz der Komplementärfarben d. h. die Kompensations- und Kontrastbeziehung von Rot und Grün, Gelb und Blau gegen die H. Magnussche Theorie einer geschichtlichen Entwickelung des Farbensinnes (117) angeführt haben.

IV. Der binokulare Kontrast.

Die bisher erörterten Kontrastphänomene betrafen durchwegs die antagonistische Wechselwirkung zwischen den Elementen je einer der Hälften unseres Sehorgans, sei es dass die bezüglichen Versuche bloss unokular oder mit beiden Augen zugleich gemacht werden. Die systematischen Studien Herings (86) über Simultankontrast haben auch dargetan, dass der simultane ebenso wie der successive Kontrast auf Vorgängen beruht, welche im wesentlichen in jeder Hälfte des nervösen Sehapparates unabhängig von der anderen Hälfte ablaufen.

Doch lässt sich der Nachweis erbringen, dass eine gegensätzliche Beeinflussung auch der einen Hälfe auf die andere, ein binokularer Kontrast in gewissem Grade besteht und deutlich merkbar gemacht werden kann.

Die erste hier zu erwähnende Beobachtung stammt von Smith zu Fochabers (161, s. auch Brewster (13, p. 493), welche zuerst Brücke (15) als Kontrasterscheinung erklärt hat. Von Fechner (49, p. 469, 52), der gleich H. Meyer (124 und 129) noch eine Anzahl analoger Beobachtungen beibrachte, wurde dafür die Bezeichnung „der seitliche Fensterversuch" gewählt. Es handelt sich hiebei darum, dass ein weisses Objekt auf dunklem Grunde dem einen durch die Sklera hindurch gelbrot bestrahlten Auge im Simultankontrast zu dem gelblichrötlichen Grund (event. verstärkt durch Successivkontrast infolge von Blickschwankungen) blaugrün erscheint, also gegensätzlich zum diaskleralen Seitenlicht, dem anderen, unbestrahlten Auge hingegen nicht farblos, sondern gelblichrot, also gleichfarbig mit dem Seitenlichte. Der Vergleich der beiden Eindrücke geschieht mittelst Doppelsehens infolge willkürlich vermehrter oder verminderter Konvergenz. — Helmholtz (66, I. p. 792, II. p. 943) benutzte zur diffusen Bestrahlung des einen Auges das grüne Fluoreszenzlicht einer Uranglasplatte, welche durch direktes Sonnenlicht bestrahlt und sozusagen selbstleuchtend gemacht wird. Zerfällt man nun den Eindruck einer weissen Scheibe auf schwarzem Grunde, welche durch das Uranglas an sich schwach gelblich erscheint, künstlich in Doppelbilder, so erscheint das Halbbild des bestrahlten Auges im Simultankontraste rosafarben auf dunklem grünlichen Grunde, das Halbbild des anderen Auges grün.

Brücke, ebenso Helmholtz bezogen die Färbung desjenigen Halbbildes, das dem unbestrahlten Auge angehört, auf eine binokulare Kontrast-

wirkung seitens der Farbe des anderen Halbbildes, die wiederum selbst dem unokularen Simultankontraste (u. event. Successivkontraste) seitens des Grundes entstammt. Gegen diese Erklärung wandte sich Ebbinghaus (43, spez. 505 bis 507), indem er den „seitlichen Fensterversuch" und die übrigen Beobachtungen Fechners einfach auf binokulare Farbenmischung bezog: es mische sich dem Eindrucke des Objektes im nicht bestrahlten Auge die von der korrespondierenden Partie des anderen Auges empfundene Färbung des Grundes bei. Diesem Einwande ist jedoch die Erfahrung entgegenzuhalten, dass der konturierte Eindruck des einen Auges über den nicht konturierten der korrespondierenden Netzhautstelle dominiert (vgl. Hering [86] p. 26—27).

Zudem erweisen andere Versuche ganz unstreitig die Richtigkeit der Fechnerschen Lehre von einem eigentlichen binokularen Kontraste. Führt man z. B. eine künstliche chromatische Verstimmung eines Auges durch längeres Vorsetzen eines farbigen Glases herbei, so erscheint nach dessen Entfernen sog. farbloses Licht, z. B. ein in Doppelbildern beobachtetes weisses Scheibchen auf lichtlosem Grunde, in der Farbe des Successivkontrastes, dem anderen Auge in der Farbe des zuvor zur Adaptation benutzten Glaslichtes, wenn auch auf dem schwarzen Grunde keinerlei Farbe zu bemerken ist[1]). Dasselbe Prinzip liegt der Versuchsanordnung Chauveaus (30) zu grunde. Nach farbiger „Ermüdung" des einen Auges durch ein farbiges Glas oder durch ein „seitliches Fenster" werden zwei Stereoskopbilder ohne Apparat beobachtet. Das Verschmelzungsbild erscheint farblos, das unokulare des „ermüdeten" Auges komplementär, das unokulare des anderen Auges durch binokularen Kontrast gleichfarbig zum „Ermüdungslichte".

Vielleicht am einfachsten und einwandfreisten vermag der Normale (wie auch der Schielende mit anomaler Sehrichtungsgemeinschaft) binokularen Kontrast zu beobachten, wenn das eine Auge durch ein passendes farbiges Glas (event. unter Weisszuspiegelung nach Hering) auf einen davorgesetzten weissen Schirm blickt, während dem anderen (event. durch ein passendes Grauglas) ein graues Scheibchen auf weissem Grunde geboten wird. Während

---

1) Diese Erscheinungsweisen des binokularen Kontrastes bei Successivkontrast in dem einen Auge vermögen auch Schielende mit anomaler Beziehung oder Sehrichtungsgemeinschaft beider Augen — an Stelle der normalen Beziehung oder Korrespondenz — gut zu beobachten. In diesen Fällen wird nämlich eine exzentrische Partie im Sehfelde von den Eindrücken der schielenden Fovea (überwiegend) ausgefüllt. Wird das fixierende Auge durch zeitweiliges Vorsetzen eines farbigen Glases für eine Farbe „ermüdet" und beobachtet dann die Farbe des negativen Nachbildes auf einem sogenannten farblosen Schirm, so präsentiert sich die von der Schielfovea gelieferte Insel in der gegensätzlichen, dem Ermüdungslichte gleichen Farbe. Die Möglichkeit binokularen Kontrastes und binokularer Mischung verschiedener Helligkeiten und Farben bei Schielenden mit Lokalisationsanomalie habe ich neben anderen Gründen angeführt zu Gunsten meiner Theorie einer anomalen Beziehung oder Sehrichtungsgemeinschaft bei gewissen Schielenden (statt selbständiger Lokalisation jedes einzelnen Auges und blossen Parallelismus, blosser Gleichheit gewisser Sehrichtungen). Vergl. A. Tschermak (167), spez. p. 526 - 528, ferner (168) spez. p. 6—9.

der Grund im Wettstreite z. B. hier und dort bald weiss, bald blau oder in einer blauweissen Mischfarbe erscheint, zeigt das dauernd prävalierende Scheibchen deutlich einen gelben Schimmer. Bei binokularer Mischung auch an dieser Sehfeldstelle müsste das Scheibchen bläulich sein! Vielleicht noch deutlicher ist die Kontrastfärbung, wenn man nach einiger Zeit das blaue Glas wegzieht, den weissen Blendschirm natürlich belässt: nun erscheint das Scheibchen bläulich auf gelblichem Grunde.

Analoges kommt zur Beobachtung, wenn nach Hering (72, p. 600—601) das eine Auge durch ein graues Glas, das andere durch ein blaues Glas von angenähert gleicher Helligkeit blickt, dessen „Sättigung" durch Zuspiegelung weissen Lichtes abgestuft werden kann. Wird so ein weisser Streifen auf schwarzem Grunde in Doppelbildern beobachtet, so erscheint das Halbbild des blaubelichteten Auges blau, das andere Halbbild nicht farblos, sondern gelblich. Bei Verwendung eines schwarzen Streifens auf weissem Grunde zeigt sich das eine Halbbild blauumsäumt, das andere im Kontraste gelbgesäumt, der Grund im Wettstreite weiss und blau oder in weissblauer Mischung. — In ganz analoger Weise verfuhr D. Axenfeld (6, 7). Er liess das eine Auge unbedeckt, setzte vor das andere ein farbiges Glas und beobachtete ein schwarzes Quadrat auf weissem Grunde in Doppelbildern. — Bei den eben angeführten Versuchen beweist das sofortige Farbloswerden des Eindruckes des einen Auges bei Schluss des anderen, farbig belichteten oder farbig ermüdeten, die binokulare Herkunft der Kontrastfärbung.

Die binokulare Kontrastfärbung des Halbbildes von dem einen Auge, bei Betrachtung eines farblosen Objektes in Doppelbildern, gestattet nach Hering (72, p. 601) eine zufällige chromatische Verstimmung des anderen Auges oder eine Differenz der chromatischen Stimmung beider Augen leicht zu konstatieren.

Unbeschadet des Bestehens einer Kontrastwirkung zwischen den beiden Hälften des Sehorgans überwiegt doch der unokulare Effekt. Man kann sich hiervon leicht überzeugen an einer Anordnung, welche Hering (86, vgl. auch J. Burch, 21) zugleich als ein schönes Beweismittel für die physiologische Grundlage des Simultankontrastes angegeben hat. Das eine Auge beobachtet durch ein rotes, das andere durch ein blaues Glas von nicht sehr verschiedener Helligkeit, welche beide schräg von der nasalen Seite nach der temporalen abfallend gestellt sind und daher die Zuspiegelung weissen Lichtes seitens seitlicher Schirme, also passende Regulierung der „Sättigung" gestatten. Der Eindruck eines schwarzen Streifens auf weissem Grunde wird durch vermehrte oder verminderte Konvergenz in Doppelbilder gespalten. Obwohl nun der beobachtete Hintergrund entweder im Wettstreit hier und dort bald rot, bald blau erscheint oder besser in einer ziemlich gleichmässig weisslich violetten Mischfarbe (speziell bei längerer Beobachtung und passend regulierter „Sättigung"), ist das Streifenhalbbild des rotbelichteten Auges deutlich grün, das Halbbild des blaubelichteten

Auges deutlich gelb gefärbt. Bei Überwiegen des binokularen Kontrastes über den unokularen oder bei einer „Urteilstäuschung" müssten beide Halbbilder in gleicher Farbe, speziell beide gelbgrün erscheinen. (Auf diesen Versuch werde ich in Kap. VII zurückkommen). — Es sei auch erwähnt, dass die in jedem Auge durch Kontrast erzeugten Farben eine binokulare Mischung ergeben können (Dopoff 39).

Dass der binokulare Kontrast nur unter gewissen günstigen Umständen einwandfrei und gewissermassen isoliert zur Wahrnehmung kommt, darf übrigens schon darum nicht sonderlich wunder nehmen, da der Wettstreit der Sehfelder und die binokulare Mischung im allgemeinen hindernd entgegenstehen. Man muss meistens den Eindruck des Kontrastauges durch Konturen prävalent machen, sozusagen isolieren.

V. Die Natur von Schwarz und Braun; das farblose und die beiden farbigen Komponentenpaare.

Die Statuierung einer gegensätzlichen Seitenwirkung oder endogenen Sekundärerregung, welche von der primären, exogenen Erregung „induziert" wird, also nur mittelbar vom Lichtreize ausgelöst wird, eröffnet uns auch das Verständnis der Schwarzerregung und der Schwarzempfindung.

Jeder Laie ist überzeugt und die feinere Empfindungsanalyse bestätigt es uns, dass Schwarz eine vollwertige Empfindung darstellt ebensogut wie Weiss. Nur ein trügerischer Schluss aus der Abwesenheit eines physikalischen Reizes, aus dem Fehlen „schwarzer Strahlen"[1]) kann und konnte zu einer gegenteiligen These verführen. Schon Helmholtz (66, II. p. 281) bemerkte: „Das Schwarz ist eine wirkliche Empfindung, wenn es auch durch Abwesenheit des Lichtes hervorgebracht wird. Wir unterscheiden die Empfindung des Schwarz deutlich von dem Mangel aller Empfindung. . . Die Objekte hinter unserem Rücken . . erscheinen uns nicht schwarz, sondern für sie mangelt alle Empfindung"[2]).

---

1) Tschiriew (171) meinte gar, die Annahme solcher wäre ein Postulat der Heringschen Lehre von den Licht- und Farbenempfindungen.

2) Schon Plateau (136) erkannte, dass Weiss und Schwarz auf physiologischen Gegensätzen und nicht bloss auf graduellen Verschiedenheiten desselben physiologischen Prozesses beruhen. — In detaillierterer Weise fasste Mach (115) obigen Gedanken. „Man hat für die Empfindung Weiss einen besonderen Prozess anzunehmen. . . Man hat sich für die Grundempfindungen Rot, Gelb, Grün, Blau vier Grundprozesse zu denken, welche in einer gewissen Selbständigkeit einhergehen. Nur zum Teil gehen diese Grundprozesse bei gleichzeitiger Anregung in einem neuen Prozess, dem Weiss, unter. Für die Empfindung Schwarz endlich muss auch ein besonderer Prozess statuiert werden. Eine Erregung durch Reizmangel hat nichts so Befremdendes, wenn man sie mit den Erscheinungen an Hemmungsnerven zusammen hält. Der Reiz muss ja nicht notwendig von aussen kommen, sondern kann vom Organismus selbst ausgeübt werden." — Pflüger (133) erklärt: „Das Phänomen

Die Erscheinungen des simultanen und des successiven Kontrastes (Fechner, Hering), der Irradiation des Schwarzen (Volkmann), der Fusion bei intermittierender Reizung (Mach [1]), 115) der binokularen Mischung (Fechner) und des binokularen Wettstreites, in welchem das Schwarz ebenso oft das Weiss besiegt als umgekehrt (Hering), sie alle bestätigen die angeführte Erkenntnis. Dieselbe führt, wie dies Hering (70, § 21 u. 22) dargelegt, konsequenterweise zu der Feststellung einer gewissen Ähnlichkeit oder verschiedengradigen Verwandtschaft eines jeden Grau mit einem idealen Weiss und einem idealen Schwarz. Dadurch erscheint aber die Reihe der farblosen oder grauen Empfindungen als eine Stufenleiter von Qualitäten, von Relationen zweifacher Ähnlichkeit oder Verschiedenheit, nicht als eine Serie von Intensitäten einer und derselben Weissempfindung. Die auslösenden Lichtreize sind nach Intensität abgestuft, nicht aber die ausgelösten farblosen Empfindungen. Dieser Anschauung gemäss sind Hering (70, § 21, 22) und Hillebrand (100, bes. Kap. I. p. 73—89) dazu gelangt, den Lichtempfindungen eine eigentliche Intensität oder Quantität in dem Sinne wie etwa den Druck- oder Gehörsempfindungen, abzusprechen: wohl kommt auch den ersteren eine von Hering (70, § 29 u. § 43) (vgl. auch F. Hillebrand 100, p. 88 — 89) als „Gewicht" bezeichnete Beschaffenheit zu — entsprechend der relativen Grösse ihres psychophysischen Grundprozesses zu jener der anderen gleichzeitigen psychophysischen Vorgänge. Dies gilt natürlich nicht bloss von den farblosen, sondern auch von den farbigen Gesichtsempfindungen, deren jede nach Hering sozusagen neben der farbigen Komponente eine farblose besitzt. Eine Intensitätsänderung des Reizes z. B. eines homogenen oder spektralen Lichtes bedingt bekanntlich eine komplizierte qualitative Änderung der farbigen Empfindung. Nämlich bei einer nicht gerade urfarbigen Empfindung schon eine Änderung des Farbentones, bei jedweder eine Änderung der Sättigung (d. h. der Deutlichkeit der eigentlichen Farbe in der Gesamtempfindung), eine Änderung der Nuance (d. h. der Art des beigemischten Grau) und im Gefolge all dessen auch eine Änderung der Helligkeit.

Die Grundlage für das Nebeneinanderbestehen von Weiss und Schwarz sowohl im reinen Grau als in dem der farbigen Empfindung beigemengten

---

des schwarzen Gesichtsfeldes gehört zu den kompliziertesten und paradoxesten Tatsachen der speziellen Nervenphysiologie." „Man muss also Weiss und Schwarz, wie es auch alle Menschen tun, als zwei verschiedene Dinge betrachten, als Gegensätze, welche nicht auf denselben, sondern verschiedenen Erregungszuständen des Sinnesorganes beruhen." — Hingegen hielt noch Preyer (142, p. 54—58), gleich Goethe, das Schwarz für die Empfindung der Netzhautruhe, (vergl. demgegenüber Hering 70, § 31).

[1]) „Das Schwarz verhält sich hiebei genau so wie eine Farbe, genau wie eine positive Lichtempfindung."

Grau[1]) bildet ein psychophysischer Dauerprozess, der sich in dem sog. Eigengrau, also zugleich in Weiss und in Schwarz manifestiert[2]). Dasselbe kommt rein zur Wahrnehmung an dem durch Licht nicht veränderten, am dunkeladaptierten Sehorgan. Es ist natürlich nicht anzunehmen, dass jener Prozess, der das Sehorgan auszeichnet, bei Lichtreizung oder bei Lichtgewöhnung, Helladaption, aufhört. Vielmehr erfährt er dabei nur eine Abänderung im Verhältnisse und in der Stärke seiner beiden Komponenten und damit in der Qualität der Grauempfindung: eventuell treten eine oder zwei farbige Komponenten aus den beiden antagonistischen Paaren Rot-Grün, Gelb-Blau neu hinzu. Die Gesichtsempfindungen erscheinen demnach als qualitative Abänderungen des Eigengraus, die Farben malen sich stets auf einem grauen Hintergrund. Das endogene Bestehen des Eigengraus benimmt den Gesichtsempfindungen die sonst als „Intensität" bezeichnete Beschaffenheit und ermöglicht, wie hier vorausgreifend bemerkt sei, überhaupt die ganze Reihe der farblosen Empfindungen. Diese fundamentale Bedeutung des psychophysischen Dauerprozesses im Sehorgan hat bereits Aubert zum Teil geahnt, aber erst Hering hat sie in klassischer Weise dargelegt und begründet (z. B. 70, § 31).

Die früher geschilderten Erscheinungsweisen des Simultankontrastes führten uns zu dem Schlusse, dass gewisse Lichter in den getroffenen Elementen des Sehorgans je nach Wellenlänge und Intensität des Reizes, nach Beschaffenheit und Zustand der Elemente eine bestimmte farbige Erregung erzeugen, und diese nun in den Nachbarelementen eine sekundäre, gegenfarbige Erregung veranlasst. Wir erhalten also auf direktem Wege die Farbenempfindungen Rot, Gelb, Grün, Blau, auf indirektem Wege oder durch Kontrast die Empfindungen Grün, Blau, Rot, Gelb: wir vermögen also jede Farbenqualität sowohl auf direktem wie auf indirektem Wege zu erzeugen. In einem und demselben Element, an einer und derselben Sehfeldstelle vermögen wir aber zu gleicher Zeit, sei es direkt oder indirekt, primär oder sekundär, nur entweder Rot oder Grün, entweder Gelb oder Blau zur psychischen Erscheinung zu bringen, also zu Grau hinzuzufügen.

Die Erscheinungen des farblosen Kontrastes bieten eine volle Analogie hiezu. Nur fehlt eine Strahlenart, welche direkt die Schwarzkomponente im Eigengrau zu verstärken vermöchte,

---

[1]) Sein relatives Quantum bestimmt die Sättigung, seine Qualität die Nuance der farbigen Empfindung.

[2]) W. Wundt (180, spez. p. 364—365) sagt: „Die Empfindung des Schwarz ist nun aber nicht bloss insofern die Dauerempfindung, als sie zurückbleibt, wenn alle anderen Erregungsformen beseitigt werden, sondern auch in dem Sinne, dass sie als eine alle andern begleitende Empfindung angesehen werden muss."

und welche indirekt die Weisskomponente steigern würde[1]). Die durch gewisse Lichter allein, durch andere gleichzeitig mit der Erzeugung farbiger Erregung primär verstärkte Weisskomponente des Eigengraus veranlasst hingegen auf indirektem Wege, durch Kontrast eine sekundäre Verstärkung der Schwarzkomponente in den benachbarten Elementen des Sehorgans[2]). — Die Empfindung des tiefdunklen, eigentlichen Schwarz, erhält man, wie Hering dargelegt hat (70, § 23, 24, 32), nur bei Nebenvorhandensein oder Kurzvorangegangensein von Weiss, nicht bei blossem Lichtabschluss. Das Kontrastschwarz hat also seine direkte Ursache in der gleichzeitigen Weisserregung, seine indirekte in dem Weissreize, im Lichte.

Entsprechend der oben angedeuteten Auffassung nehme ich keine indirekte Verstärkung von Weisserregung durch benachbarte Schwarzerregung, keine eigentliche Weissinduktion an. Die Erhellung der an Schwarz bezw. Dunklergrau grenzenden Randpartieen ist meines Erachtens darauf zurückzuführen, dass die bezüglichen Elemente des Sehorganes durch Kontrastwirkung oder Schwarzinduktion seitens ihrer gleichfalls weisserregten Nachbarn, also durch Binnenkontrast eine relativ geringere Beeinträchtigung ihrer Weisserregung erfahren als die allseitig von „Konkurrenten" umgebenen Elemente. Die scheinbaren lokalen Unterschiede innerhalb heller oder farbiger Flächen beruhen demnach auf einer geringeren konstrastiven Depression der Ränder, sie sind sozusagen das Negativprodukt des Binnenkontrastes. — Dass die Erscheinung der simultanen und der successiven Lichtinduktion ganz anderer Natur sind, braucht wohl nicht ausgeführt zu werden.

Der hier vertretenen Anschauung zufolge vermögen wir durch äussere Reize, also von der Peripherie her nur entweder die Weisskomponente oder die Schwarzkomponente des Eigengraus zu verstärken, entweder die Rotkompenente oder die Grünkomponente, entweder die Gelbkomponente oder die Blaukomponente hinzuzufügen. In dieser Beziehung besteht zwischen den drei Komponentenpaaren eine volle Analogie, zwischen den beiden Gliedern jedes einzelnen ein durchgreifender (präterminaler) Antagonismus. Der Anschein von Diskrepanz

---

[1]) Hingegen besitzen wir anscheinend im galvanischen Strome, wenn er durch den Nervus opticus „absteigend", durch die Netzhaut in der Einfallsrichtung des Lichtes, also gegen die Richtung der optischen Erregungsleitung gesendet wird, ein Mittel zur direkten Verstärkung des Schwarz im Eigengrau und zur indirekten Verstärkung des Weiss auf dem Wege des Simultankontrastes. Bei absteigendem Strome verdunkelt sich nämlich das Sehfeld, auch wenn das Auge absolut dunkel adaptiert ist, also zunächst unverändertes Eigengrau sieht. Hingegen erscheint im Anfange der Beobachtung der blinde Fleck im Kontrast erhellt. — Das Schwarz im Druckphosphen ist wohl als Kontrasteffekt der Helligkeit im übrigen Sehfelde aufzufassen.

[2]) Die fernerliegende Möglichkeit einer Schwächung oder Hemmung der einen oder anderen Komponente mag zunächst ausser Betracht bleiben.

1898

Nach Scripture (Cerebral light. Stud. Yale labor. V. 88) ist das Eigenlicht in seiner „Projection" nicht an die Netzhäute gebunden, also eine cerebrale Erscheinung.

Ebenso die phantast. Gesichtserscheinungen in ihrer Localis. unabh. v. Augenbewg.

Talbot, Am. Journ. of psych. 1896. VIII. 419.

ist nur dadurch hervorgerufen, dass Weiss und Schwarz terminal d. h. in der psychophysischen Sphäre dauernd bereits nebeneinander vorhanden sind. Ohne Präexistenz von Weiss und Schwarz im Zentrum, ohne endogenes Eigengrau gäbe es — infolge des präzentralen Antagonismus zwischen exogener Weisserregung und Schwarzerregung — als exogene Effekte überhaupt gar keine Grauempfindungen, wohl aber eine uns jetzt unbekannte Intensitätenreihe von Weissempfindungen, sowie von Schwarzempfindungen.

Infolge der Präexistenz des Eigengraus und des präterminalen Antagonismus von Weiss und Schwarz zeigt jede farbige Empfindung mindestens das unveränderte Eigengrau, gewöhnlich aber ein helleres oder dunkleres Grau beigemengt. Den sogenannten farbigen Lichtern kommt eben, nach Hering, im allgemeinen neben farbiger noch eine gewisse weisse Valenz, ein doppelter Reizwert zu: ihr Empfindungseffekt ist durch die beiden Faktoren des Eigengraus und des präterminalen Antagonismus kompliziert.

Schon aus dem Gesagten erhellt, dass das Eigengrau nicht bloss nicht exogen, sondern auch nicht retinal begründet sein kann, vielmehr zentralen Ursprunges, der Ausdruck eines dauernden Stoffwechselvorganges in der psychophysischen Sphäre ist, während z. B. von Helmholtz (66, I. p. 357, II. p. 502) das Eigenlicht des dunklen Gesichtsfeldes auf „eine gewisse schwache Reizung der Netzhaut durch innere Einflüsse" bezogen wurde. — Tatsächlich erhielt ich von intelligenten Erblindeten mit totaler Opticusatrophie die Antwort, dass das „Dunkel" vor ihren Augen keineswegs dem tiefsten, einst gesehenen Schwarz gleiche, vielmehr ein grauer Nebel sei. Diese Empfindung erhält in so manchen Blinden den trügerischen Glauben an einen Rest von Lichtwahrnehmung und die Hoffnung auf Besserung[1]).

Mit dieser Darlegung[2]) glaube ich zur Beseitigung gewisser Bedenken, wie sie von mehreren Seiten gegen die Heringsche Theorie der Gegenfarben vorgebracht wurden, etwas beizutragen.

Die Natur der Braunempfindung. Durch die von Hering gegebene physiologische Erklärung des Schwarzreizes und der sekundären Schwarzerregung wurde auch die Natur der Braunempfindung aufgeklärt. Schon

---

[1]) Subjektive Lichterscheinungen bei Fehlen oder Zerstörung des Auges sind bereits bei Joh. Müller (Phantastische Gesichtserscheinungen p. 30), A. v. Humboldt (Gereizte Muskel- u. Nervenfaser H. II. p. 444), Lincke (De fungo medullari. Lips. 1834) beschrieben (zit. nach Helmholtz 66, II. p. 243). Vergl. auch J. W. Park (131).

[2]) Von den verschiedenen Möglichkeiten einer detaillierten „Erklärung" sei hier nur die angedeutet, dass die antagonistischen Erregungskomponenten sich nicht gleichzeitig auszubreiten oder fortzupflanzen vermögen, dass also auf dem Wege von der Peripherie zum Zentrum eine Subtraktion oder Kompensation erfolge. Hingegen vermöchten sie nebeneinander zu entstehen: das dauernde Eigengrau wäre das psychische Korrelat ihrer fortwährenden, gleichzeitigen Entstehung in der psychophysischen Sphäre.

E. v. Brücke (17, spez. Kap. I. p. 50) hatte bemerkt: „Die Empfindung Braun kann von monochromatischem Lichte hervorgebracht werden, aber ein Gelb oder Orange, das zu lichtschwach ist, um den Eindruck von Gelb oder Orange zu machen, erscheint deshalb noch nicht braun. Zur Erregung der lebhaften und deutlichen Empfindung Braun durch monochromatisches Licht gehören begünstigende Umstände. Solche sind relative Dunkelheit im Vergleiche mit anderen gleichzeitig gesehenen Farben, bezw. dem Weiss, und zweitens der Kontrast, hervorgerufen durch Blau bezw. Grün und Violett."

Doch erst Hering zeigte genauer, dass die Braunempfindung dann zustande kommt, wenn die nicht zu starken farbigen Reizwerte eines langwelligen (roten und gelben) Lichtes überwiegen gegenüber seiner Weissvalenz und somit eine nicht zu satte Empfindung und doch nur eine relativ geringe Erhellung des Eigengraus resultiert —, noch besser aber, wenn zugleich die Schwarzkomponente des Eigengraus durch Simultan- oder Successivkontrast verstärkt wird. Wie Hering und Hillebrand (100, bes. p. 85—87) gezeigt haben, genügt die blosse Intensitätsminderung eines rotgelben Pigment- oder Spektrallichtes nicht, um die Empfindung Braun statt Rotgelb zu erzeugen: dazu bedarf es entweder der Beimengung schwarzen Pigments zum rotgelben oder der Addition von subjektivem Kontrastschwarz zum primären Reizeffekt des rotgelben Lichtes (bezw. der Minderung seiner Weissvalenz) also entweder einer weissen Umgebung dieses Eindruckes oder einer vorausgeschickten Weissreizung der betreffenden Stelle selbst. — Zur Demonstration dieser Bedeutung des Simultankontrastes hat Hering den Nuancierungsapparat angegeben (beschrieben und besprochen bei F. Hillebrand 100), in welchem eine Orangepapiertafel variabel gegen das einfallende Licht gestellt und durch einen halbweissen, halbschwarzen, beiderseits durchlochten Schirm betrachtet wird. Das Loch auf der schwarzen Hälfte erscheint, ob stark, ob schwach durchstrahlt, rotgelb: das Loch auf der weissen Hälfte machte den Eindruck Braun. Denselben Effekt kann man hervorrufen, wenn man sich durch längere Fixation eines weissen Scheibchens auf schwarzem Grund ein negatives, schwarzes Nachbild erzeugt und dasselbe hernach auf einem rotgelben Grunde entwirft: Die Stelle des Nachbildes erscheint braun.

VI. Der Ort der Kontrastwirkung.

Die Auffassung des Kontrastes als antagonistischer Wechselwirkung zwischen den einzelnen Elementen des Sehorgans führt zu der interessanten Frage, an welcher Stelle der Sehleitung wohl diese sekundäre oder Seitenwirkung auf die Umgebung und damit ihre Addition (bezw. Subtraktion) zu der primären Erregung der Umgebung selbst stattfindet. So schwierig die Beantwortung erscheint, so gestatten m. E. doch bestimmte Kontrastbeob-

achtungen einen gewissen Schluss, wenigstens eine Einengung des fraglichen Gebietes per exclusionem.

Simultankontrast auf Farbenskotomen. Zunächst erweist sich die Kontrastwirkung als nicht geknüpft an die farbige Erregbarkeit des Aufnahmegliedes der Sehelemente. Auch solche Elemente, welche auf direkte Lichtreizung hin keine Farbenempfindung vermitteln, können dies bei indirekter Reizung tun — also sekundäre farbige Erregung bei Mangel der primären aufweisen. Es lassen sich nämlich Kontrasterscheinungen auf pathologischer Weise total farbenblinden Netzhautstellen nachweisen: die normale sog. Totalfarbenblindheit der Netzhautperipherie muss hier ausser Betracht bleiben, da sie bekanntlich keine absolute, sondern nur eine relative ist (abhängig von Grösse der Reizfläche, anfänglicher Sättigung, Kontrastwirkung der Umgebung, Zustand des Sehorgans, Farbenqualität und Netzhautregion (vergl. Tschermak [166]).

Von jener Tatsache konnte ich mich, wie ich hier zuerst mitteile, in einem Falle von Neuritis des papillomakularen Bündels überzeugen, die zu einem querovalen totalen Farbenskotom vom Fixationspunkte bis zum blinden Fleck geführt hatte (1889 — ein analoger, minder reiner Fall von zentralem Rotgrünskotom 1901). Bei Kopffixation und Benützung eines ringförmigen Fixationszeichens (nach Uhthoff) konnte der Blick hinlänglich festgehalten werden. Durch Verschiebung gestielter Scheibchen aus Pigmentpapieren liess sich das Skotom gut abgrenzen: auch weisse Objekte wurden innerhalb desselben minder hell gesehen. In der Ausdehnung des Skotoms wurden selbst bei Ausfüllung fast des ganzen Skotombereiches mit sattesten Pigmenten diese stets für farblos erklärt. Man durfte, nach vergleichender Prüfung des Farbensinnes auf der übrigen Netzhaut, die totale Farbenblindheit innerhalb des Skotoms als eine absolute betrachten. Es wurde nun ein grösseres Quadrat von passendem Graupapier auf ausgedehntem schwarzen Grunde dem Skotom dargeboten: es erschien farblos. Wurde nun plötzlich durch Wegziehen des schwarzen Grundes — ohne Ortsveränderung des Fixationsringes und des Grauquadrates — ein ausgedehnter sattfarbiger Grund enthüllt, so gab die Patientin sofort eine Verfärbung des Grauquadrates im Sinne der Gegenfarbe an: als besonders deutlich wurde für grünen Grund und passendes Grau „rosenrot", für gelben Grund und passendes Grau „bläulich" bezeichnet. Die Exaktheit der Farbenbenennung, speziell auch für Kontrastbeobachtungen, wurde nachher in besonderen Versuchen an der farbentüchtigen Netzhautregion kontrolliert. Die Kontrastversuche innerhalb des Skotoms geschahen vor dieser Kontrolle und waren überhaupt die ersten derartigen Beobachtungen der Patientin.

Aus dieser Feststellung möchte ich die Perspektive ableiten, dass in einer Anzahl von Fällen von sog. atypischer partieller Farbenblindheit dieser Mangel bloss für direkte Lichtreizung, nicht aber für Kontrastwirkung be-

stehen könnte. Diese Fälle würden sich dadurch als peripher, eventuell in einer Anomalie des photochemischen Reizvermittlers, den Sehstoffen begründet erweisen. — Selbst völlige Unerregbarkeit des Aufnahmegliedes der Sehelemente für Licht, also ein absolutes Skotom brauchte das Zustandekommen von Kontrastwirkung nicht auszuschliessen[1]).

Simultankontrast am blinden Fleck. Auf die eben geäusserte Möglichkeit weist schon der Umstand hin, dass Kontrasterscheinungen auch innerhalb des blinden Fleckes zu beobachten sind. Schon dessen entoptische Sichtbarkeit überhaupt wird durch Helligkeitskontrast ermöglicht. Das weitere Vorkommen farbigen Kontrastes an dieser Stelle beweist auf das deutlichste, dass die Anfangsglieder der Sehleitung, ja überhaupt deren retinale Anteile für die Kontrastwirkung nicht notwendig sind. Für den blinden Fleck ist eine solche ja erst dort möglich, wo er überhaupt durch nervöse Elemente vertreten ist, also nicht vor der Endigung des Tractus opticus.

Die entoptische Sichtbarkeit des blinden Fleckes unter günstigen Bedingungen ist wohl schon lange bekannt und neuerdings von Charpentier (28) eingehender beschrieben worden. Günstige Bedingungen sind plötzliche, gleichmässige Belichtung des Auges nach längerem Lichtabschluss, rascher Wechsel von Hell und Dunkel, z. B. Lidschlag viermal in der Sekunde oder Beobachtung durch eine rotierende gefensterte Scheibe, transpupillare Belichtung wie zur Beobachtung der Aderfigur (vgl. Brewster [13], p. 497), endlich energische Augenbewegungen sowie Steigerung des intraokularen Druckes (ebenso plötzliche Verminderung nach künstlicher Steigerung, Finkelstein [56] p. 883—884). So beobachtete schon Purkinje (143, I. p. 79) bei kräftigen Augenbewegungen im Finstern entsprechend dem Sehnerveneintritt einen feurigen Kreis, der eine dunkele Scheibe umgab; im hellen war der Kreis dunkel. Ähnliches sah Helmholtz (66, Fig. 2, Taf. V, I. p. 79). Auch Aubert (4a, p. 339) bemerkte bei dem Versuche im Dunkeln zwei undeutlich begrenzte helle Flecke, bei Durchleuchtung der geschlossenen Lider zwei dunkelblaue Flecke. Von demselben Autor stammt die Angabe, dass er bei lokalem Druck auf das Auge, neben dem Druckphosphen, entsprechend dem Sehnerveneintritt einen grauen unbestimmten Fleck mit hellem Rande bemerkt (p. 338). — Ich selbst sehe den dunklen Fleck temporal und etwas unten vom Fixationspunkte samt den davon abgehenden Gefässschatten besonders deutlich, wenn ich nach kurzdauerndem Lichtabschluss den Blick nach dem mässig hellen blauen Abendhimmel erhebe. Die Erscheinungsweise des blinden Fleckes gleicht dabei vollkommen jener der Netzhautgefässe und der Makula, obwohl im erstgenannten Falle nicht eine Beschattung seh-

[1]) Hier sei auch der interessanten Selbstbeobachtung Brewsters (14) gedacht, dass an den Stellen negativer Skotome, deren mehrere in seinen Augen anfallsweise aufzutreten pflegten, deren eines im rechten Auge aber dauernd bestand, das Eigenlicht beim Aufenthalte im Dunkelzimmer lebhafter, heller erschien.

tüchtiger Netzhautelemente vorliegt wie im zweiten. An der Stelle des blinden Fleckes erscheint eben das durch Helligkeitskontrast verdunkelte (und „gewichtiger" gewordene) Eigenlicht — genau so wie an den von den Gefässen beschatteten Sehfeldstellen. Unter günstigen Umständen ist, wie ich bestätigen kann, auch das negative Nachbild in Form einer hellen Scheibe zu erhalten (Charpentier [28]). Der blinde Fleck erweist sich, wie Charpentier betont, mit Sicherheit als in der Sehsphäre vertreten; seine Vertreter erscheinen „miteingerechnet" bei der Verteilung der physiologischen Raumwerte oder Lokalzeichen an die einzelnen Elemente des Sehorgans[1]).

Farbenerscheinungen, und zwar zweifellos Kontrastfarben am blinden Fleck wurden zuerst bei Reizung des Auges mit dem konstanten Strome (seit Le Roy) beobachtet. Es bleibe hier ganz dahingestellt, welcher Teil der Sehleitung hiebei gereizt wird und welcher für den Endeffekt massgebend ist. Bei Leitung eines schwachen „absteigenden Stromes durch den Sehnerven" tritt Verdunkelung und Färbung des Sehfeldes ein (nach Purkinje [143, I. p. 52] grüngelblich, nach Ritter und Helmholtz [66, I. p. 204, II. p. 245] rötlichgelb, nach Aubert [4a, p. 346] grünlich, nach Ruete [1854] und Brunner [1863] gelbrot, nach Schelske [1874], Schliephake, Neftel, O. Schwarz [1890], G. E. Müller[2]) [125] gelbgrün, nach Erb gelb): zu Anfang erscheinen die Eintrittsstellen der Sehnerven als helle, wesentlich gegenfarbige Scheiben (nach Purkinje hellviolett, nach Ritter und Helmholtz blau, nach Aubert sehr schwach violett, mit gelblichem Rande). Bei Öffnung des absteigenden Stromes erscheinen die Scheiben nach Helmholtz dunkel, nach Aubert gelb auf bläulichweissem bezw. hellviolettem Grunde.

Bei aufsteigendem Strome tritt Erhellung des Sehfeldes und gegensätzliche Färbung des Sehfeldes ein (weisslichviolett nach Purkinje [143, I. p. 51 u. II. p. 36], Helmholtz, Aubert, blau nach Ruete und Neftel; blaurot nach Erb; violett nach Schelske, Schliephake, O. Schwarz und G. E. Müller)[3]). Die Eintrittsstellen der Sehnerven erscheinen nach Purkinje und Helmholtz als dunkle Flecke, nach Aubert als gelbe, helle Ringe mit dunkler Mitte. — Bei Öffnung des aufsteigenden Stromes

---

[1]) Trotz der Möglichkeit von Kontrasterregung, für welche allmählich ebenso Adaptation eintritt wie für die Lichterregung (vgl. oben, Abschnitt III), ist der blinde Fleck unter gewöhnlichen Verhältnissen unsichtbar. Es würde zu weit führen, dieses Verhalten hier eingehender zu erörtern. Dass die Ausfüllung des blinden Fleckes zu gunsten einer physiologischen Irradiation angeführt wurde, wird im Abschnitt VIII zu erwähnen sein.

[2]) G. E. Müller betont, dass die den beiden Stromesrichtungen entsprechenden Empfindungen gegenfarbig sind.

[3]) In der Tabelle von Rossbach (abgedr. in Biedermanns Elektrophysiologie p. 616 bis 618) sind die Angaben Purkinjes für die beiden Stromesrichtungen verwechselt, die von Aubert fehlen.

erscheinen nach Aubert die Scheiben gelb auf verdunkeltem, schwach grünlichen (nach Helmholtz rötlichgelben) Grunde.

Schon Aubert (4a, p. 339), neuerdings Charpentier (28) beschrieb die entoptische Sichtbarkeit und Kontrastfärbung des blinden Fleckes als dunkelblaue bezw. grüne Scheibe auf gelblichrotem Grunde — bei starker Durchleuchtung der geschlossenen Lider und energischer Blickbewegung. Ich kann diese Erscheinung für mich bestätigen. — Auch bei der meist üblichen Beobachtungsweise der Aderfigur mittelst diaskleraler oder transpupillarer Belichtung bemerke ich in den Gefässschatten und im Dunkel des blinden Fleckes Brewster [13], p. 497) einen grünlichblauen Kontrastanflug infolge des umgebenden Rotgelbs.

Endlich beweist schon das blosse Bestehen eines binokularen Kontrastes, dass ein Kontrasteffekt auch relativ weit zentralwärts, jenseits der Endigung des Tractus opticus zu stande kommen kann. Speziell Parinaud (130) hat diese Schlussfolgerung betont. Allerdings sei daran erinnert, dass — wie speziell Hering dargetan hat — die Vorgänge des simultanen wie des successiven Kontrastes ganz überwiegend in jeder Hälfte des nervösen Sehorgans unabhängig von der anderen Hälfte verlaufen (vgl. Kap. IV.).

Auf der anderen Seite ist es auszuschliessen, dass die Kontrastwirkung erst in der psychophysischen Sphäre, an terminaler Stätte eintritt. Wäre dies der Fall, so würde zu der primären psychophysischen Roterregung sekundäre Grünerregung hinzutreten können, neben einer direkten Verstärkung der terminalen Weisskomponente wäre noch gleichzeitig eine indirekte Steigerung der Schwarzkomponente in einem und demselben Sehelement möglich: dies müsste sich aber psychisch in gleichzeitiger Empfindung von Rot und Grün, in eventueller Verstärkung eines Grau ohne Änderung seiner Qualität oder Helligkeit äussern. Gerade die Möglichkeit, ja Tatsache eines terminalen Nebeneinanderbestehens von Weiss- und Schwarzerregung bezw. -empfindung wird uns ja durch das allerdings endogene Eigengrau demonstriert! Da nun aber jene psychischen Konsequenzen nicht existieren, können wir den Ort der Kontrastwirkung, sowie der wechselseitigen Subtraktion oder Kompensation zwischen bestimmten Erregungskomponenten, den Ort des Antagonismus zwischen Rot und Grün, Gelb und Blau nicht in der psychophysischen Sphäre suchen.

Der Kontrast erscheint nach dem Vorstehenden weder an das Endglied der Sehleitung geknüpft noch auf das Anfangsglied derselben beschränkt und im wesentlichen, aber nicht vollkommen, unabhängig für jedes einzelne Auge. Vielmehr sind Kontrast und Komponentenantagonismus präterminal und zwar vorwiegend, aber nicht ausschliesslich in das Gebiet mit Sonderung der beiden Sehorganhälften zu lokalisieren. Eine Erstreckung dieser Prozesse bis auf die Netzhäute hinab ist allerdings nicht auszuschliessen. — Es wäre meines Erachtens voreilig und nutz-

los heute eine Hypothese über den näheren Ort dieser Prozesse [1]) auszustellen und schon ein bestimmtes Neuron der Sehleitung in dieser Hinsicht aufzuzeichnen. Das Grundlose, ja Unzutreffende der Annahme, die Tangentialzellen in der Retina vermittelten die Wechselwirkung der Elemente des Sehorgans, braucht nach dem Gesagten nicht näher gekennzeichnet zu werden.

VII. Die Theorien des Kontrastes.

Der vorstehenden Darstellung ist die physiologische Auffassung des Kontrastes zu grunde gelegt als einer gegensätzlichen Wechselwirkung zwischen den einzelnen Sehelementen und zwar innerhalb der präterminalen Sphäre. Im folgenden sei die historische Entwickelung dieser Auffassung, welche als die bestbegründete auzusehen ist, skizziert und zugleich die ihr entgegengesetzte psychologische Theorie des Kontrastes behandelt. Des Versuches der Bestreitung eines Simultankontrastes überhaupt und der Wiederlegung dieser These ward schon oben (Kap. III) gedacht.

Wenn auch Rumford schon vorher, Grotthuss, Brandes, Tourtual und Pohlmann (140) bald nachher die subjektive Natur der Kontrastfarben erkannt haben, so ist doch W. v. Goethe (60) der Begründer einer physiologischen Kontrasttheorie überhaupt zu nennen. Seine bezeichnendsten Worte sind schon eingangs angeführt worden. Er konnte mit Recht von sich sagen, er habe die subjektiven Farben als Lebenserscheinungen des normalen Auges gerettet (§ 180). Grund für diese gegensätzliche, nach ihm „ergänzende" Simultan- und Successivwirkung der Lichtreize war für Goethe ein etwas mystisches „Vollständigkeitsbestreben" in der Natur, im Auge.

Eine physiologische Auffassung der Kontrasterscheinungen von grosser Klarheit finden wir bei Brewster (13). Er betrachtet die Kontrastfarbe als „Wirkung des Lichtes auf einen Teil der Netzhaut, auf den es nicht einfällt". Die Kontrasterscheinungen beruhen nach ihm und H. Meyer (122, p. 560)

---

[1]) Bezüglich der Heringschen Kontrastlehre hatte J. v. Kries (105, p. 121) irrtümlich bemerkt: „Hering führt alle (simultanen) Kontrasterscheinungen auf Modifikationen der Prozesse im peripheren Nerven zurück, auf Veränderungen der Dissimilations- und der Assimilationsprozesse." Hering entgegnete (79): „Ich habe aber von solchen Prozessen lediglich in bezug auf die psychophysische Substanz gesprochen" (70, § 25, 27, 42). „Kries verlegt irrtümlich all das, was meine Theorie von der psychophysischen Substanz aussagt, in eine photochemischen Substanz der Netzhaut (nach Art des Sehpurpurs) . . . . irgendwelche photochemische Substanz wird in meiner ganzen Theorie gar nicht erwähnt." „Trotzdem hat man wiederholt die Behauptung ausgesprochen, dass ich die Netzhaut selbst als den ausschliesslichen Ort jener Veränderungen des Sehorgans ansähe, welche den Kontrasterscheinungen zu grunde liegen" (76, Anm. 3. p. 163—164). Vergl. auch Herings Bemerkung bezüglich des kurzen Ausdruckes „Wechselwirkung der Netzhautstellen" (80, p. 182). — Derselbe Irrtum kehrt übrigens in zahlreichen Schriften wieder z. B. bei H. Neiglick (127, bes. p. 111).

auf einer lokalen Minderung der Lichtempfindlichkeit seitens der starkbelichteten Umgebung: der farbige Kontrast auf einer Minderung der Empfindlichkeit für die Farbe der Beleuchtung des Grundes und damit auf Überwiegen der komplementären Farbe. — Zufolge der Theorie Plateaus (136) sollte die Umgebung einer erregten Stelle in der Nähe in gleicher Phase (physiologische Irradiation), in grösserer Entfernung in entgegengesetzter Phase (Kontrast) miterregt werden. Diesen räumlich ausgebreiteten Oscillationen der Netzhaut analog sollten die zeitlich ausgebreiteten die Grundlage der Nachbilder sein. — Joh. Müller (126, II. 2. Kap. V. I. 3. B. p. 371—374) bezeichnete den Simultankontrast als eine „Wechselwirkung der Netzhautteilchen", genauer als „Erregung entgegengesetzter Zustände in nebeneinander liegenden Teilen der Netzhaut." Er sagte ferner: die Kontrastfarben „beweisen wieder, dass die Farben physiologisch nur bestimmte Zustände der Nervenhaut sind, welche sich in verschiedenen Netzhautteilen wechselseitig hervorrufen können[1])." Ebenso hat sich G. Th. Fechner (47) für eine physiologische Grundlage der Kontrasterscheinungen ausgesprochen.

Diesen älteren physiologischen Theorien, nach denen die Reaktionsweise, die Empfindung in der Umgebung der erregten Netzhautstelle verändert sei, also daselbst wirkliche gegensätzliche Mitempfindungen zustande kämen, stellten E. v. Brücke (15)[2]) und vor allem Helmholtz (66, I. p. 414, II. 546—565) eine rein psychologische Erklärung gegenüber, der sich zahlreiche Autoren (u. a. G. H. Schneider [158]) anschlossen. Nicht eine Veränderung der Empfindung, sondern eine solche der Abschätzung, also eine Urteilstäuschung liege dem reinen Simultankontraste, speziell dem Randkontraste, zu grunde. Durch den gleichzeitigen und zwar überwiegenden Eindruck einer Farbe werde die Norm dessen, was wir Weiss nennen verändert (66, I. 396, II. 550). Die Empfindung Weiss sei keine einfache Empfindung, „sondern in einem bestimmten Verhältnis zusammengesetzt aus den Empfindungen der drei Grundfarben: die Erkennung, ob das Intensitätenverhältnis der drei darin enthaltenen Grundfarben verändert sei oder nicht, und die darauf beruhende Bestimmung des Weiss ist eine ziemlich unsichere und ungenaue." Wir würden allerdings durch die Möglichkeit des Vergleiches mit dem Eigenlicht der Netzhaut vor allzu grossen Irrtümern geschützt (66, I. p. 397, II. 550). — Bezüglich des Florkontrastes und des Spiegelkontrastes meinte Helmholtz, dass das Urteil über die räumliche Lage, über die körperliche Selbständigkeit des betreffenden Objektes entscheidend für die Bestimmung der Farbe sei, und folgerte, dass die Kontrastfarbe hier nicht durch einen Akt der Empfindung, sondern durch einen Akt des Urteils oder

[1]) Daneben meinte Joh. Müller (p. 370 A. 1 u. 2) allerdings auch eine gleichsinnige „Mitteilung der Zustände zwischen verschiedenen Teilen der Netzhaut" annehmen zu sollen: er führte hierfür speziell die „Ausfüllung" des blinden Fleckes an.

[2]) Vergl. auch 18, p. 158: „Der Spiegelkontrast rührt von einer Verschiebung unseres Urteiles her."

der Abschätzung entsteht (66, I. 406, II. 559). Demgemäss beschränke auch Übung jene falsche Schätzung und damit die Kontrasterscheinungen (I. 415, II. 564 565). — Nach Helmholtz bleibt also bei den Kontrasterscheinungen die „Empfindung" unverändert, sie wird jedoch infolge eines falschen Urteils anders ausgelegt, führt also zu einer anderen „Vorstellung" oder „Wahrnehmung" (vgl. Hering[1]) [77]).

W. Wundt (180, spez. p. 382—383. vgl. auch 178, Bd. I. Kap. IX Nr. 4) erklärte den simultanen Kontrast als ein nicht „aus der Erregung der peripherischen Sinnessubstanz entspringendes, sondern als ein zentrales Phänomen," welches u. a. von zentralen Prozessen abhängt, die wir psychologisch als Akte der Vergleichung definieren.

J. v. Kries (105, bes. p. 121—133) hat sich im wesentlichen der psychologischen Theorie von Helmholtz angeschlossen. Für den psychologischen Kontrast seien alle Bedingungen (Unsicherheit des Urteils über absolute Helligkeiten und Farben) vorhanden, die psychologische Erklärung habe eine ganz zweifellose Berechtigung. Eine wirkliche Nötigung, daneben noch eine direkte wechselseitige Beeinflussung der verschiedenen Netzhautteile anzunehmen, scheine nicht vorzu liegen, mit Ausnahme gewisser Fälle (simultaner Lichtinduktion), welche aber von dem gewöhnlichen Kontraste sich sehr wesentlich unterscheiden. Diese Fälle bezog J. v. Kries (p. 124) darauf, „dass bei längerer Einwirkung eines Lichtreizes auf eine Netzhautstelle eine allmähliche Ausbreitung desselben in der Umgebung stattfindet."

Gegen die Brücke-Helmholtzsche Theorie der Urteilstäuschung äusserten zwar schon Fechner (50) und Aubert (4a, p. 387—390) mancherlei Bedenken. Der letztere führte speziell die Beobachtung an, dass das plötzliche Einwirken eines schwellennahen Lichtreizes (glühender Platindraht, elektrischer Funke) die hellen Nebel des Eigengraus durch Kontrastwirkung auslöscht (3, 4a, p. 334). Doch brachte erst Mach (111—116) bessere Gründe für eine physiologische Auffassung der Kontrasterscheinungen vor. So führte er die Erscheinungen des Randkontrastes an den sogenannten Stufenscheiben und analogen rotierenden Zylindern an und bemerkte: „Mir scheinen die besprochenen Phänomene allein durch eine Wechselwirkung benachbarter Netzhautstellen erklärbar" (111, p. 317). Mach betonte ferner die Rolle des Kontrastes bei der Schaffung der Konturen, der subjektiven „Empfindungsfläche" an Stelle der objektiven „Lichtfläche" (112, 113, 114). Bezüglich des Modus der Kontrastwirkung nahm er an, dass der Abfluss der lokalen Erregung ins Sensorium infolge der Erregung der Umgebung gehemmt werde. — Denselben Standpunkt einer physiologischen

[1]) Eine andere psychologische Auffassung des Kontrastes hat B. Schmerler (157) vertreten. „Die hauptsächlichste Ursache der Kontrastphänomene ist der Umstand, dass die Lichtempfindungen wie alle anderen Empfindungen in Verhältnis zu gleichzeitig auftretenden anderen Eindrücken geschätzt werden" (p. 414).

Begründung des Kontrastes vertraten Al. Rollet[1]) (148—151) und J. K. Becker[2]) (9).

Den entscheidenden Sieg dieser Auffassung für den simultanen wie für den successiven Kontrast und zugleich eine vollständige physiologische Theorie der Kontrastwirkung hat dann E. Hering begründet, er hat auch zuerst die biologische Bedeutung des Kontrastes voll gewürdigt. Herings Lehre besagt — auf Grund zwingender Beweise gegen eine psychologische Erklärungsweise[3]) — dass der Simultankontrast auf einer Zustandsänderung, einer wirklichen Erregung des Sehorgans an der bezüglichen Stelle beruht (70, § 10): diese Zustandsänderung ist eben durch die gleichzeitige Beleuchtung und Erregung der übrigen Netzhaut bedingt (§ 11). — Als besonders schlagenden Beweis zugunsten einer physiologischen Erklärung führte Hering (70) u. a. den Wechsel subjektiver Helligkeit an, den ein grauer Streifen auf einem abwechselnd schwarzen und weissen Grunde erfährt (§ 8, 9). Ebenso betonte er die entsprechenden Erscheinungen im negativen Nachbilde (§ 10). Nicht geringere Beweiskraft für eine wirkliche Veränderung der Erregung und Empfindung statt einer „falschen Vorstellung" besitzen die Erscheinungen der simultanen Lichtinduktion (§ 15—17).

Herings Erklärung des simultanen Kontrastes (§. 32) macht folgende Grundannahmen. Die Empfindung des Weissen oder Hellen entspreche der Dissimilierung im psychophysischen Apparate, in der „Sehsubstanz". Eine gesteigerte Assimilierung führt an sich zu erhöhter Dissimilierungs-Erregbarkeit, eine gesteigerte Dissimilierung zu erhöhter Assimilierungs-Erregbarkeit. Hering formuliert seine Erklärung dahin: „Auf partielle Reizung durch Licht reagiert nicht nur der getroffene Teil, sondern auch dessen Umgebung und zwar der direkt gereizte Teil durch gesteigerte Dissimilierung, die (indirekt gereizte) Umgebung durch gesteigerte Assimilierung derart, dass letztere Steigerung in der unmittelbaren Nähe der beleuchteten Stelle am grössten ist und mit dem Abstand von derselben rasch abnimmt". (§. 32.) — Die Frage nach der speziellen Art und Weise der Kontrastwirkung, also der gegensätzlichen Sekundärerregung hat Hering offen gelassen. „Die zunächst rätselhafte Tatsache, dass das Licht nicht nur direkt auf den von ihm getroffenen Teil, sondern auch indirekt auf die übrigen und insbesondere die

[1]) Rollet bezeichnete (150, spez. p. 765) eine Erklärung der Kontrasterscheinungen aus psychologischen Prozessen, speziell aus Urteilstäuschung, als nicht wahrscheinlich, für die Auffassung als „physiologischer Wechselwirkungen in den Nervenbahnen" lassen sich allerdings nur Andeutungen geben.

[2]) Becker nahm, wie schon zuvor Brewster (13), eine Hemmung der Erregbarkeit durch die Einwirkung der Umgebung an — nicht, wie Mach, bloss eine Hemmung des Abflusses der lokalen Erregung ins Sensorium.

[3]) Aubert (4b, p. 499) und Ad. Fick (53, p. 232) haben dies anerkannt. Fick sagt, dass die von Hering beschriebenen Erscheinungen „sich entschieden nicht durch Urteilstäuschung erklären lassen."

Nachbarteile wirkt, muss man, wie jede Tatsache, einfach hinnehmen" (§. 32)[1]).

Später hat Hering (80—83) die von Helmholtz (66, II. § 32, 537 bis 565) angeführten Gründe für seine psychologische Auffassung des Simultankontrastes als einer Urteilstäuschung einer eingehenden experimentalen Kritik unterworfen, deren eingehendere Besprechung mir geboten erscheint. — Hering kritisierte zunächst folgende Angabe, welche Helmholtz im Anschlusse an Osann (128, vgl. Fechner [47, p. 231]) gemacht hatte. Beobachtet man die farbigen Schatten durch eine auf die Grenze der beiden Schatten eingestellte Röhre, so erscheint der objektiv farblose Schatten gegenfarbig: nach Helmholtz hält aber diese subjektive Färbung noch an, wenn man nachher die Röhre auf den farblosen Schatten allein einstellt und zugleich das farbige Licht auslöscht. Hingegen verschwinde die Färbung bei Entfernen der Röhre, „da man die betreffende Stelle nun als identisch erkennt mit dem Weiss, welches das übrige Gesichtsfeld füllt". „Kein Versuch zeigt schlagender und deutlicher den Einfluss des Urteils auf unsere Farbenbestimmungen".

Nach Hering (80) liegt hier ein Irrtum infolge von Successivkontrast vor. Bei entsprechenden Kautelen (Diaphragma für Tageslicht, Selbstzünderflamme, Feststehen der auf Druck auseinanderklappenden Röhre, Verschiebung des schattenwerfenden Körpers, durchwegs stramme Fixation) zeigt sich kein „Fortbestehen der subjektiven Farbe", vielmehr erscheint in der zweiten Phase des Versuches die zuvor farbig (gelb) belichtete Feldhälfte im Successivkontraste gegenfarbig (blau), die bereits zuvor farblos belichtete Feldhälfte grau bis gelblichgrau. Andererseits macht eine plötzliche Mitbelichtung des übrigen Sehfeldes die Farben der beiden Hälften des Nachbildes durch Schwarzinduktion minder deutlich, was für Nachbilder überhaupt noch durch besondere Versuche gezeigt wird. Hering betont auch speziell, dass überwiegende Grösse des „induzierenden" Feldes gegenüber dem „reagierenden" für die Kontrasterscheinungen nicht wesentlich ist.

Helmholtz hatte ferner zugunsten seiner Deutung angeführt, dass das Erkennen eines farblosen Eindruckes (auf farbigem Grunde) als eines selbstständigen Körpers die Kontrastfärbung undeutlich oder unmerklich

[1]) Er bemerkt weiter: „Die Sache verliert viel von ihrer Rätselhaftigkeit, wenn man bedenkt, dass es im Bereiche des physikalischen und chemischen Geschehens zahlreiche Analogieen dafür gibt, besonders da, wo es sich um Auslösung von Kräften handelt. Man denke sich z. B. die Ätherschwingungen lösten an der gereizten Stelle einen chemischen Prozess aus, durch welchen Wärme frei würde, so wäre denkbar, dass diese Wärme nun ihrerseits die Assimilierung unterstützte und zwar nicht nur an der beleuchteten Stelle, sondern infolge der Fortleitung der Wärme auch, jedoch schwächer, in der Umgebung. Ich bemerke aber ausdrücklich, dass dies nur ein Bild sein soll, und dass sich solcher Bilder viele machen liessen" (70, § 32). — So hat Charpentier (25) an elektrische Induktion in den benachbarten Nervenzellen als Grundlage des Simultankontrastes gedacht.

mache: so die Schwarzumrandung des kontrastleidenden Feldes[1]) oder der Ersatz eines farblosen Fleckes durch ein aufgelegtes Papierscheibchen von angeblich „derselben Helligkeit" (mit seinen als Korn bezeichneten Ungleichmässigkeiten!) — Hering (81) zeigte demgegenüber, dass derartige Nebenumstände, speziell Papierkorn und Umrandung (mit Weissverstärkung zu beiden Seiten!) geeignet sind, überhaupt kleine Farben- und Helligkeitsunterschiede, und zwar auch objektiv bedingte oder im Nachbilde bestehende, also auch solche nach Helmholtz physiologisch bedingte Differenzen unmerklich zu machen (vgl. auch Herings Ausführungen über das „Verschwinden der Nachbilder bei Blickbewegungen" [86] p. 20—23). Zudem hat Helmholtz die Schnitzelversuche meist in einer Weise angestellt, bei welcher gerade die Anfangsmomente, also die Zeit der stärksten Kontrastwirkung nicht ausgenützt wurde. — Andererseits schliesst, wie Hering durch verschiedene Modifikationen des Meyerschen Kontrastversuches[2]) darlegt, das Erkennen eines grauen Papierstückes auf farbigem Grunde als eines selbstständigen, darüberliegenden Objektes die kontrastive Färbung desselben keineswegs aus.

Hatte Helmholtz zugunsten seiner Theorie angenommen, dass die Verlegung der Eindrücke in verschiedene Entfernung beim Spiegelkontrastversuch von wesentlichem Einflusse auf den Kontrasteffekt sei, so widerlegte Hering (82) auch diese Annahme. Ausschluss der Sichtbarkeit der spiegelnden Glasplatte, Auffassung der gespiegelten und der hindurch gesehenen Objekte als in gleicher oder in verschiedener Tiefe gelegen, ja selbst Vorhalten eines passenden Grauscheibchens lässt gleichwohl den Simultankontrast in Erscheinung treten.

Endlich hatte Helmholtz die Annahme vertreten, dass wir unter

---

[1]) Ein Beispiel hiefür bietet in gewissem Sinne auch ein von A. D. Waller (174) angegebener Versuch. Bringt man einen breiten farbigen Streifen auf weissen Grund und legt senkrecht darüber einen schmalen grauen Streifen von solcher Länge, dass er beiderseits über den farbigen Streifen hinausragt, so erscheint der „graue" Streifen in seiner ganzen Länge gleichförmig oder komplementär gefärbt, speziell in der Mitte. Grenzt man aber die vorstehenden Endpartien des Streifens durch schwarze Striche gegen die Mitte ab, so verfärben sie sich deutlich im Sinne der induzierenden Farbe, während die Mitte komplementär erscheint.

[2]) Muster von gleichbreiten grauen und farbigen Streifen oder Quadraten von Flor gedeckt in schwarzem Rahmen, Muster ebensolcher schmaler Ringe auf dem Kreisel. — Vergleichende Beobachtung eines Grauscheibchens mit Florpapierüberzug (zuerst von J. K. Becker [9] angewendet — Hering [82, p. 365 Anm.]) von einem Draht schwebend gehalten und eines Grauscheibchens hinter Florpapier, welches auf einer Glasplatte aufliegt und einen farbigen Grund durchscheinen lässt. Beide Scheibchen zeigen bei nicht ganz scharfer Akkommodation des beobachtenden Auges in gleicher Weise simultane wie successive Kontrastfärbung, gleichgültig ob das erstere Scheibchen auf dem Florpapier aufliegt oder bei binokularer Beobachtung deutlich davor schwebend erscheint. Gleiches ergeben leidlich passende Grauscheibchen vor dem Kreisel mit farbigen und grauen Ringen, bei unscharfer Akkommodation. — Auch beim Spiegelversuch konnte Hering (82, p. 364—366) durch analoge Kautelen die nach Helmholtz fehlende Kontrastfärbung eines vorgehaltenen Papierschnitzels sehr wohl erreichen.

Umständen auf Grund unbewusster Erfahrung und mit Hilfe unbewusster Urteile den farblosen Eindruck eines gemischten Lichtes subjektiv in zwei Komplementärfarben zerlegen, was Helmholtz eine „Teilung des weissen Lichtes in zwei komplementäre Portionen" nannte. So sollte man beim Flor- und Spiegelkontrastversuch an den objektiv farblosen Stellen gleichzeitig zwei Komplementärfarben, die eine sozusagen durch die andere hindurch wie hinter einer transparenten Decke sehen. Hering (83) erwies die völlige Unrichtigkeit dieser folgenschweren These in der gründlichsten Weise. Er zeigte unter anderem, dass der von ihm modifizierte Spiegelversuch (s. Kap. II.) ebensogut gelingt, wenn man die Glasplatte als solche gar nicht sieht oder überhaupt von deren Vorhandensein nichts weiss: die kontrastfarbenen und die glasfarbenen Ringe scheinen durchaus derselben Ebene anzugehören. Durch Verschieben des unteren Blattes und der Glasplatte kann man bei Binokularsehen die Ringe in verschiedener und zwar der wirklichen Lage entgegengesetzter Entfernung erscheinen lassen, ohne dass sich der Kontrasteffekt ändert. Allerdings verschwindet dieser, ebenso wie ein schwacher Schatten auf weissem Grunde, bei Ruhighalten des Blickes überhaupt rasch: bei wanderndem Blick addiert sich der Successivkontrast dazu. — Als einen weiteren Gegenbeweis führte Hering folgendes an. Ein kleines durch Spiegelmischung von zwei gegenfarbigen Lichtern, z. B. gelbem und blauem Licht, vollkommen gleichmässig weiss erscheinendes Scheibchen — auf einem blauen Täfelchen als Grund — ändert seine scheinbare Farbe nicht, gleichgültig ob es bei binokularer Betrachtung vor oder hinter oder in der Ebene des blauen Täfelchens gesehen wird, also gleichgültig, ob das letztere als Hintergrund, oder als Umgebung oder als farbige durchsichtige Decke aufgefasst wird.

Andererseits beruht nach Hering das Erscheinen der Gegenstände in angenähert richtigen Farben, wenn man sie auf einer ungleichmässig gefärbten Fläche z. B. einer polierten braunen Tischplatte gespiegelt sieht, oder wenn man durch einen farbigen Schleier hindurch beobachtet, nicht auf einer Spaltung der Empfindung, sondern nur auf der ungleichmässigen Verteilung der zu trennenden Farben. Hering illustriert dies durch eine Anzahl besonderer Versuche. Ebenso ist das Grünerscheinen heller farbloser Objekte bei diaskleraler Rotbelichtung des Auges nach Hering eine einfache und unmittelbare Kontrastwirkung und erfordert nicht eine subjektive Spaltung des farblosen Lichtes in einen roten und in einen grünen Anteil. — Auch die Tatsache, dass objektiv gleiche Lichtergemische einen verschiedenfarbigen Eindruck geben, wenn sie auf verschiedenfarbigem Grunde betrachtet werden, ist hier anzuführen. Hering hat dieselbe mit einer besonderen Methode der Doppelbilder dargetan (vgl. Kap. II.)

Des weiteren wurde von Hering (76, p. 164—167) speziell auf die Folgeerscheinungen des simultanen Kontrastes, auf die simultane und die

successive Lichtinduktion, hingewiesen und deren Verhalten zugunsten der Theorie verwertet, dass der Simultankontrast auf einer lokalen Umstimmung des Sehorgans beruht. So sind die Helligkeitsunterschiede der Nachbilder zweier Graustreifen auf schwarzem und weissem Grunde auch dann sehr deutlich, wenn der Helligkeitsunterschied der Nachbilder des Grundes undeutlich ist. Auf die gelegentliche Deutlichkeit des Simultankontrastes im Nachbilde bei Undeutlichkeit im Vorbilde hatte bereits Goethe (60, Teil. V, § 58) aufmerksam gemacht. Ebenso betonte Al. Rollett (151, p. 25) die gelegentliche Deutlichkeit der subjektiven Färbung sog. farblosen Lichtes bei „Weiss"erscheinen des induzierenden, schwachfarbigen Grundes und führte diese Erscheinung gegen die Erklärung des Kontrastes als einer Urteilstäuschung an.

Auf eine besonders sinnfällige Demonstration, welche Hering (86) für die physiologische Begründung und für die wesentlich einäugige Lokalisation des Kontrastes gab, wurde bereits in Kap. IV hingewiesen. Das eine Auge beobachtet durch ein rotes, das andere durch ein blaues Glas die Doppelbilder eines schwarzen Streifens auf weissem Grunde. Während der Hintergrund entweder im Wettstreite hier und dort bald rot, bald blau oder noch besser in einer ziemlich gleichmässigen weisslichvioletten Mischfarbe erscheint, ist das Streifenhalbbild des rotbelichteten Auges dauernd grün, das Halbbild des blaubelichteten Auges gelb gefärbt. Das Umgekehrte ist im negativen Nachbilde, nach Vorschieben eines schwarzen Schirmes über den weissen Grund, wahrzunehmen. Die Beobachtung lehrt hier, dass „das eigentlich Bestimmende für die Erscheinungen des Simultankontrastes nicht die Helligkeit oder Farbe ist, welche man wirklich wahrnimmt d. h. welche ins Bewusstsein tritt, sondern lediglich die durch das äussere Licht — je nach seiner Art bezw. Valenz — in jeder einzelnen Hälfte des Sehorgans bewirkten physiologischen Vorgänge". — Auch an die Möglichkeit einer binokularen Mischung von Kontrastfarben (Dopoff 39) sei hier erinnert.

Hering (76, 77) hat ferner im Anschlusse an eine Diskussion mit S. Exner (46) den Begriff der „Urteilstäuschung" in der physiologischen Optik eingehend auseinandergesetzt, speziell bezüglich der Wahrnehmung simultaner und successiver Helligkeitsunterschiede. Jener Ausdruck könne höchstens für die Möglichkeit einer verschiedenen Auffassung oder Deutung bei genau gleichen Bedingungen gelten, nicht aber für die kontrastiven Änderungen eines Eindruckes bei Änderung seiner Umgebung. — Die Beobachtung Exners (46), dass der Helligkeitswechsel des Grundes auch dann noch kontrastiv auf ein kleines umschlossenes Feld wirkt, wenn das Flackern durch Ermüdung unmerklich geworden ist, demonstriert geradezu die rein physiologische, nicht psychologische Grundlage des simultanen Helligkeitskontrastes[1]).

[1]) Hering bemerkt über dieses Erscheinungsgebiet — im Anschluss an eigene Beobachtungen am Doppelschattenphotometer von Rumford, sowie mittelst der Bunsen-Lum-

Einen sehr wertvollen Beweis für die physiologische Grundlage des Simultankontrastes erbrachten weiterhin die Beobachtungen Sherringtons (159), welche den Einfluss betreffen, der dem Simultankontrast für die Verschmelzung intermittierender Lichtreize zukommt. Er fand, dass von zwei blau-schwarz gehälfteten Ringen auf einer schwarz-gelb halbierten Kreiselscheibe derjenige erst bei einer höheren Tourenzahl gleichmässig erscheint, dessen Blauhälfte auf dem Schwarz des Scheibengrundes gelegen ist — im Gegensatze zu dem anderen Ringe, dessen Blauhälfte auf dem Gelb gelegen ist und satter erscheint. Einen analogen Unterschied gibt ein weiss-schwarz gehälfteter Ring gegenüber dem schwarz-weiss gehälfteten Grund, da die beiden Ringhälften auf dem gegensätzlichen Grunde kontrastiv „gehoben" werden. Der kontrastive Helligkeitszuwachs wirkt also auf die Verschmelzung intermittierender Reize wie ein objektiver Lichtzuwachs. — Im letzteren Beispiele flackert der Ring noch deutlich, wenn der Grund bereits gleichmässig erscheint, erst bei höherer Tourenzahl verschwimmen beide ineinander. Gerade dieses Verhalten schliesst jede Zurückführung auf Urteilstäuschung aus.

Dasselbe Ringphänomen gibt eine weiss-schwarz halbierte Scheibe, welche einerseits einen schwarzen Zahn ins Weiss, andererseits einen ebensolchen weissen ins Schwarz vorspringen lässt. — Wird durch zwei Zahnpaare bei langsamer Rotation der Eindruck zweier flackernder Ringe erzeugt, so flackert jener stärker und länger, dessen Zähne im Sinne der Umdrehungsrichtung vorspringen: in diesem geht ja das kontrastiv „gehobene" Weiss des Zahnes dem übrigen Weiss voran, das kontrastiv „gehobene" Schwarz dem übrigen Schwarz. — Sherrington hat noch eine ganze Anzahl von Variationen dieser schönen und bedeutsamen Versuche angegeben. Dieselben wurden von Grünbaum (62, bes. 449) mit demselben Erfolge wiederholt.

Entgegen den Angaben Sherringtons hatte schon früher Baader (8), welcher einerseits eine Scheibe von halb weissen, halb schwarzen Ringen, andererseits eine einfach weiss-schwarz gehälftete Scheibe benützte, keinen unterschiedlichen Einfluss des Kontrastes auf der ersteren Scheibe bezüglich der Verschmelzung gefunden. F. Schenck (155) klärte diesen scheinbaren Widerspruch dahin auf, dass in der Baaderschen Anordnung der Simultankontrast keinen Einfluss auf den Übergang vom „Flimmern" (Stadium der Ungleichmässigkeit durch huschende Schatten — nach Schenck) zum völligen Gleichmässigerscheinen besitzt (vgl. auch 154). Wohl aber besteht ein solcher Einfluss bezüglich des Überganges vom „Flackern" (Stadium des Getrennterscheinens von Weiss und Schwarz — nach Schenck) zum „Flimmern".

merschen Fleckmethode (76, p. 168): „Eine Steigerung oder Minderung der Beleuchtung und Erregung der übrigen Netzhaut, welche nicht erheblich genug ist, um eine auffallende oder auch nur überhaupt merkliche Änderung der entsprechenden Empfindung zu bewirken, kann sehr wohl eine erhebliche Änderung im Zustande der umschlossenen Stelle A bewirken."

F. Schenck bestätigte zugleich unter Tourenzählung seine ältere Beobachtung (154, p. 169), dass eine weiss-schwarz gehälftete Scheibe, durch ein Loch eines Schirmes betrachtet, eine um so kleinere Umdrehungszahl erfordert, je dunkler der Schirm ist.

Eine physikalische Erklärung des Simultankontrastes hat Giraud-Teulon (59, § 198) versucht. Das farbige Licht des Grundes bringt die brechenden Medien zum Fluoreszieren, diese halten nun aus dem „farblosen" Lichte die gleichfarbigen Lichtarten zurück und lassen die übrigen, komplementär erscheinenden Lichtarten zur Retina gelangen. Die Kontrastempfindung sei also rein objektiv erzeugt. — Gegen diesen durchaus unzutreffenden Erklärungsversuch hat schon E. Szilaggi (163) die nicht starke Fluoreszenz der brechenden Medien des Auges (vgl. auch Helmholtz, Setschenow) und das Bestehen binokularen Kontrastes angeführt.

VIII. Die Lehre von der Irradiation.

Unter Irradiationserscheinungen verstehen wir nach Hering (73, p. 444) jene Änderungen des scheinbaren Ortes der Konturen und der scheinbaren Grösse bezw. Sehgrösse, welche durch die Aberration des Lichtes im Auge bedingt sind.

Es sei hier daran erinnert, dass der bilderzeugende Apparat des Auges seine Aufgabe, die Lichtreize an die einzelnen Netzhautelemente, und zwar entsprechend der relativen Lage der Lichtquellen zueinander, zu verteilen, auch bei optimaler Refraktion und Akkommodation nur in recht unvollkommenem Masse erfüllt. Dem Ziele vollkommen scharfer, stigmatischer und ähnlicher Abbildung oder Reizverteilung steht an erster Stelle im Wege die erhebliche Lichtzerstreuung in den nicht homogenen brechenden Medien — der regelmässige wie der unregelmässige Astigmatismus derselben, dann in geringerem Masse die überhaupt mangelhafte und bei Akkommodation schwankende Zentrierung der Grenzflächen sowie die sphärische, die chromatische und die diffraktive oder Beugungsaberration. Eine Beschränkung der sphärischen Aberration durch Verengerung der Eintrittspupille bringt hinwiederum eine Begünstigung der Beugungsaberration[1]) mit sich. Es wird Aufgabe des nächsten Kapitels sein, darzulegen, wieso wir trotz so mangelhafter Netzhautbilder, trotz einer so diffusen Reizung doch zu relativ scharfen Anschauungsbildern gelangen. Darum

[1]) Die Bedeutung der diffraktiven Aberration hat speziell H. Gerstmann (58) hervorgehoben, der allerdings mit Unrecht die „Flächenirradiation" im Gegensatze zur „Fadenirradiation" ausschliesslich auf die Beugung des Lichtes beziehen möchte. Die Grössendifferenzen an seinen Photogrammen fand G. Grijns (61) übereinstimmend mit jenen, welche rechnerisch schon aus den Zerstreuungskreisen bezw. aus sphärischer Aberration allein resultieren.

lehrt uns natürlich auch die Beobachtung, sei sie „subjektiv" an uns selbst, sei sie „objektiv" z. B. am Netzhautbildchen des albinotischen Tierauges, die tatsächlichen Abbildungsfehler nur in sehr gemässigter Form kennen.

Nur unter besonderen Umständen, besonders bei starker Beleuchtung, werden die Abbildungsfehler recht auffallend, indem sie speziell zu einer scheinbaren Verschiebung der Konturen führen: dann sprechen wir eben von „Irradiation". Dass die viel auffallenderen Irradiationserscheinungen bei mangelhafter Einstellung (Refraktion, Akkommodation) des Auges, also beim „Sehen in Zerstreuungskreisen", von jenen bei optimaler Einstellung nicht scharf zu scheiden sind, hat besonders Hering (73, p. 446), zum Teil gegenüber Helmholtz (66, II. p. 398—400), nachdrücklich betont.

Von den hierher gehörigen Beobachtungen ist wohl jene am ältesten, der zufolge die hellen Himmelskörper auf dunklem Himmel grösser erscheinen als auf hellem und die Fixsterne sich überhaupt als verschieden grosse helle Scheibchen präsentieren. Dieses Verhalten erschien zwar den älteren Astronomen infolge der Mangelhaftigkeit ihrer Fernrohre stark übertrieben (näheres siehe bei Helmholtz [66], I. p. 334, II. p. 478—479). Auch die Beobachtung, dass durchleuchtete Spalten oder Gittermaschen zu breit erscheinen, gehört zum alten Bestande optischer Kenntnisse. — Bereits W. v. Goethe (60, § 16—17) erwähnt an Irradiationserscheinungen das Kleinererscheinen einer schwarzen Scheibe (bezw. das Grössererscheinen einer weissen) auf weissem (bezw. schwarzem) Grunde bei hinreichend starker Beleuchtung — andererseits das Verschiedengross und Verschiedenhellerscheinen von zwei gleichen Grauscheiben auf weissem und auf schwarzem Grunde (§ 250). Ebenso die alte Erfahrung, dass schwarze Kleider den Träger schmäler erscheinen lassen als weise; die Mondsichel scheint einem grösseren Kreise anzugehören als die schwach beleuchtete übrige Fläche; Lichter, hinter einem Rand gesehen, machen einen scheinbaren Einschnitt in denselben (ebenso erscheint bekanntlich feiner Draht, vor einer Flamme gesehen, unterbrochen).

Eine systematische Übersicht und Theorie der Irradiationsphänome gab jedoch erst Plateau (138, 139). A. W. Volkmann (172, 173) beschrieb zuerst Erscheinungen negativer Irradiation d. h. Fälle von Grössererscheinen dunkler Objekte auf hellem Grund. So erscheinen sehr feine schwarze Fäden oder breitere schwarze Streifen (mittelst des Makroskops verkleinert gesehen) auf hellem Grunde, welche um ihre Breite voneinander abstehen, breiter als die Zwischenräume. Speziell bei mangelhafter Einstellung des Auges beobachtete Volkmann die genannte Erscheinung sowie das Schmälererscheinen eines weissen Streifens dort, wo er von zwei schmalen, ein Breitererscheinen dort, wo er von zwei breiten schwarzen Streifen begrenzt wird. Bei sehr schwacher Beleuchtung kann sich die früher erwähnte

Grössendifferenz einer weissen und einer schwarzen Scheibe auf gegensätzlichem Grunde sogar umkehren[1]).

Messungen der Irradiationsgrösse. Solche hat zuerst Plateau (138) angestellt. Er benützte das scheinbare Übereinandergreifen und Verfliessen zweier weisser Quadrate auf schwarzem Grunde, die schräg übereinander stehen und nur mit einer Ecke zusammenstossen. Es wurde die seitliche Verschiebung der beiden Quadrate gegeneinander bestimmt, bei welcher ihre übereinander stehenden Seiten in einer Geraden zu liegen scheinen. Plateau fand folgende zwei Sätze, die ich nach der Formulierung durch A. Lehmann (108, p. 618) gebe: 1. Der Zuwachs der scheinbaren Grösse durch Irradiation ist vom Gesichtswinkel des Objektes unabhängig, wenn nur dasselbe hinlänglich gross ist (Irradiationssatz I). Ferner 2. Der Zuwachs an scheinbarer Grösse wächst mit der Lichtstärke (Irradiationsatz II). — Gerade die leztere Tatsache führte Plateau zur Erwägung, dass die Zerstreuung im Auge sich doch nicht mit der Lichtstärke ändern könne: er gab hauptsächlich deshalb die ältere physikalische Irradiationstheorie auf und ersetzte sie durch seine physiologische Irradiationslehre. Er erkannte eben nicht, dass die Zunahme der Irradiationswerte hauptsächlich auf der Überwindung oder dem Unzulänglichwerden der Kontrastwirkung beruht.

Das Messungsproblem verfolgte auch Volkmann (172, 173), indem er sehr feine schwarze oder weisse Fäden vor hellem Grunde oder die mittelst Makroskops verkleinerten Bilder breiterer schwarzer oder weisser Streifen so einstellte, dass sie um ihre Breite voneinander abzustehen schienen. Er formulierte daraufhin folgenden Satz (Irradiationssatz III): Unterhalb einer gewissen Grösse und bis zu einer bestimmten Grenze des Gesichtswinkels ist der Zuwachs an scheinbarer Grösse durch Irradiation um so grösser, je kleiner der Gesichtswinkel ist. Der scheinbare Widerspruch mit Plateaus These hat darin seinen Grund, dass Plateau relativ grosse, Volkmann kleine Objekte benutzte[2]).

Analoge Beobachtungen mittelst des Makroskops an schwarzen sowie weissen Streifen auf gegensätzlichem Grunde hat später Aubert (4a, § 100, p. 213—217) angestellt. Er gewann daraus, im Anschlusse an ältere Untersuchungen von Tobias Meyer und Förster (57), folgende These (Irradiationssatz IV): Unterhalb einer gewissen Grenze, wenigen Winkel-

---

[1]) Den grossen Einfluss des Simultankontrastes auf die Irradiationserscheinungen illustriert — nach der Erklärung Auberts (4a, § 101) — folgende Beobachtung Volkmanns. Der Zwischenraum von zwei Linien oder Streifen, welche um ihre Breite voneinander abstehen, erscheint geringer wie die Linienbreite, sowohl wenn die beiden Linien weiss auf ausgedehntem schwarzen Grunde sind (positive Irradiation), als auch, wenn die beiden Linien schwarz auf aufgedehntem weissen Grunde sind (negative Irradiation, verstärktes Kontrastschwarz).

[2]) Zudem fand Volkmann, dass weisse Linien auf schwarzem Grunde stärker irradiieren als die umgekehrte Anordnung, sowie dass die negative Irradiation bei Ermüdung des Auges zunimmt.

minuten, ist der Gesichtswinkel ohne Einfluss auf die scheinbare Grösse. Für sehr kleine Winkelwerte und gleichbleibende Lichtmenge ist die scheinbare Grösse konstant.

Le Roux (110) hat angegeben, dass für sein Auge alle Irradiationsphänomene in der Fovea centralis nicht oder wenigstens nicht in merkbarer Weise bestehen im Gegensatze zum indirekten Sehen.

Theorie der Irradiation. Die Zurückführung der Irradiationserscheinungen auf die Abbildungsfehler des Auges war von Kepler und Galilei[1]) angebahnt worden, während Descartes (1637 — ebenso Herschel) zudem eine Ausbreitung starker Erregung auf die benachbarten Netzhautelemente vermutete. Plateau (138, 139) schuf die Theorie einer physiologischen Irradiation d. h. einer gleichsinnigen, sekundären Miterregung und Mitempfindung der Nachbarelemente des Sehorgans. Dieser gegenüber wurde die physikalische Erklärungsweise vertreten und ausführlich begründet von Powell (1849), Fliedner (1852), Trouessart (1852), Vallée (1852), Fechner (48), Welcker (176), H. Meyer (122), Aubert (4a, § 98—108, p. 209 bis 235), Helmholtz (66, I. p. 321—327, II. 394—402), Mach (112) und Hering (70, IV. Mitt.)[2]).

Nach der Erklärung von Mach und Hering erfolgt die Bestimmung des scheinbaren Ortes der Konturen innerhalb des Randsaumes oder des Aberrationsgebietes eines Netzhautbildes durch zwei Faktoren: durch die beschränkte Unterschiedsempfindlichkeit für Intensitätsunterschiede des Lichtes und durch den Simultankontrast. Infolge der Aberration fällt die Bestrahlungsintensität oder die Lichtfläche (Mach [112, 113, 114]) entsprechend der Grenze eines hellen Objektes nicht senkrecht bis auf Null ab, sie nimmt vielmehr allmählich in einer nicht genau zu bestimmenden Kurve ab. (Den Versuch einer schematischen Berechnung der Lichtverteilung im Aberrationsgebiete haben Helmholtz (bloss für chromatische Aberration (66, I. 134—135, II. 156—168), Delboeuf (36, p. 501) und A. Lehmann (108) gemacht). — Infolge der beschränkten Unterschiedsempfindlichkeit wird der Effekt der Aberration sowohl von der einen, wie von der anderen Seite ihres Gebietes her eingeschränkt. Speziell bleiben bei noch relativ hohen Beleuchtungsgrössen relativ erhebliche Intensitätsunterschiede unbemerklich (Helmholtz): die Folge davon ist, dass die Grenze der hellen Fläche hinausrückt. Eine weitere Beschränkung des Aberrationseffektes und damit

---

[1]) Kepler, Paralipomena (1604. p. 217, 220, 285). — Galilei Opera. T. II. p. 18, 255—257, 396, 467—469 und Systema cosmicum. Lyon 1641. Dial. III. p. 248. Zit. nach Helmholtz (66) I. p. 334, II. p. 478—479.

[2]) Cramer (35) nahm, unter Würdigung der physikalischen Erklärung und unter Ablehnung einer Stigmatik des dioptrischen Apparates, eine physiologische Irradiation an als Folge des begrenzten Unterscheidungsvermögens der Retina, so wie Weber bezüglich des Tastsinnes. — A. W. Volkmann (173, p. 41) zog auch die „Urteilstäuschung“ heran.

endlich eine scharfe Konturierung der „Empfindungsfläche" (im Gegensatze zur „Lichtfläche", Mach) setzt der Kontrast. Dessen fundamentale Bedeutung ist erst von Aubert (4a, p. 334, 387—390), Mach (112, 113, 114, 116) und speziell Hering (70, § 32)[1]) erkannt und dargelegt worden.

Infolge der gegensätzlichen Seitenwirkung der lokalen Lichterregung wird nämlich in den Nachbarelementen die Schwarzkomponente sekundär verstärkt. Diese wirkt nun der Weisserregung entgegen, welche in denselben Elementen primär durch das aberrierte Licht verstärkt wird. Das Kontrastschwarz übertrifft und kompensiert bis zu einer gewissen Grenze diese Lichterregung und engt daher sozusagen das Aberrationsgebiet ein. Andererseits fällt die Lichterregung in den randständigen Elementen des gereizten Gebietes relativ stärker aus als in der Mitte, da in dieser die wechselseitige Subtraktionswirkung der einzelnen Elemente aufeinander die stärkste ist. Der Reizeffekt ist also an den Rändern stärker als in der Mitte, geradeso als ob die ersteren einen Zuwachs an objektivem Reizlicht erfahren hätten. Die Abnahme der Lichtstärke im Aberrationsgebiet wird sonach bis zu einer gewissen Grenze kompensiert. Es wird also der Kontur des Hellen innerhalb des Aberrationsgebietes hinausgeschoben, und so werden erst die speziellen Verhältnisse für die Wirkung der beschränkten Unterschiedsempfindlichkeit geschaffen. Das Hereinrücken der Schwarzgrenze und das Hinausrücken der Weissgrenze durch die Kontrastwirkungen und die beschränkte Unterschiedsempfindlichkeit führen demnach zur Konturenbildung innerhalb des Aberrationsgebietes. Bei der vielfachen Variabilität der Lichtverteilung im Aberrationsgebiete, andererseits jener physiologischen Faktoren selbst fällt die Konturenbestimmung unter verschiedenen Bedingungen recht verschieden aus — wie dies eben die sog. Irradiationserscheinungen illustrieren.

Dieselben gestatten in letzter Linie durchwegs eine Zurückführung auf die physikalische Lichtaberration. Es besteht weder Nötigung noch Berechtigung nach Plateau eine physiologische Irradiation oder gleichsinnige Miterregung auf dem Gebiete des Sehorgans anzunehmen — im Gegensatze zur antagonistischen Wechselwirkung seiner Elemente[2]).

---

[1]) „Wenn man eine beschränkte Stelle einer beliebig hellen oder dunklen Fläche eben merklich erhellt oder verdunkelt, so beruht die Merklichkeit dieser Veränderung keineswegs bloss auf der Zu- oder Abnahme der Helligkeit der betroffenen Stelle, wie man dies seither angenommen hat, sondern auch auf der Ab- oder Zunahme der Helligkeit ihrer Umgebung. Dies kommt bei den üblichen Methoden zur Messung der Unterschiedsempfindlichkeit sehr in Betracht" (Hering [70], § 32, vgl. auch 71).

[2]) Die „Ausfüllung" des blinden Fleckes und pathologischer sogen. negativer Skotome wurde von Brewster (13), Joh. Müller (126, p. 370, A. 1 und 2), Plateau (138) zu gunsten der Annahme einer physiologischen Irradiation angeführt. Bereits Welcker (176, p. 45) und Volkmann (172, 1853) haben sich mit Recht hiegegen ausgesprochen.

Die Frage der Zapfenbilder. Die Irradiationserscheinungen besitzen dadurch noch ein besonderes Interesse, dass sie zu dem Problem führen, ob es möglich ist ein Netzhautbild auf einen einzigen Zapfen der Netzhaut oder gar Teile eines solchen zu beschränken, und ob optische Grössenunterschiede ausschliesslich auf Unterschiede in der Zahl der wirksam gereizten Zapfen zurückzuführen sind.

Die letztere Anschauung hat zuerst A. W. Volkmann (173, vgl. auch Aubert 4 b, p. 578) vertreten. Er nahm an, dass selbst die kleinsten wahrnehmbaren Gegenstände noch Bilder geben, deren Zerstreuungskreise auf vielen Zapfen liegen. Er sowie Aubert (4 b, p. 583) zogen diese Folgerung aus der Tatsache, dass im Makroskop Lichtpunkte unterhalb eines Gesichtswinkels von wenigen Minuten dieselbe scheinbare Grösse behalten, bei Gleichbleiben der ausgesandten Lichtmenge, trotz Änderung der wirklichen Bildgrösse. Umgekehrt ändert sich die scheinbare Grösse trotz Gleichbleibens der wirklichen bei Änderung der ausgesandten Lichtmenge.

Hering (73, p. 440 und 78, spez. p. 5—6, p. 16) erklärte: „an Stelle des nur in der Theorie punktförmigen Bildes eines leuchtenden Punktes besteht ein Aberrationsgebiet“ (vgl. Cramer 35). „Die Berechnung des Netzhautbildchens nach der üblichen Weise ist wegen der nie genau stigmatischen Vereinigung der Strahlen eigentlich illusorisch. Wir wissen bei „punktförmigen Netzhautbildern“ nicht, wie gross der Durchmesser des wirksamen Aberrationsgebietes ist“. Gegenüber Holmgrens Versuch (101), mittelst „punktförmiger“ Reizung verschiedene Arten von Netzhautelementen nachzuweisen, bemerkte Hering: „Ein leuchtender Aussenpunkt gibt innerhalb gewisser Grenzen ein umso grösseres wirksames Netzhautbild, je heller er ist“. — Ann. Riccò (146) sagte: „Bei Bildern, die auf der Grenze des Wahrnehmbaren liegen, kommt für den Grösseneindruck nur das Produkt aus Oberfläche und Lichtstärke in Betracht, bezw. das Produkt aus Winkelgrösse und Quadratwurzel aus Lichtintensität ist konstant.“ Diesen Satz bestätigten O. Bull (20), Donders (38), A. E. Fick (55), Guillery (64), speziell beim Aufsuchen der Reizschwellen farbiger Lichter. Dass oberhalb einer Objektgrösse von wenigen Winkelminuten jener Satz nicht mehr gilt haben Aubert (4 a, § 100), Guillery (64), Charpentier (29) speziell demonstriert. — H. Piper (135) fand, zum Teil anschliessend an Treitel (164, p. 81), folgende Bedeutung des Adaptationszustandes. Für das indirekte Sehen des absolut dunkeladaptierten Auges wächst der Reizwert eines Objektes nicht nur mit der Lichtintensität, sondern auch mit der Quadratwurzel aus der Flächengrösse des Netzhautbildes: hingegen ist für die Peripherie des helladaptierten Auges die Flächengrösse so gut wie ohne Einfluss, die Lichtintensität also fast allein entscheidend — im Zentrum jedoch besteht sogar Proportionalität zur Flächengrösse.

Endlich hat L. Asher (2) eine systematische Untersuchung über das Grenzgebiet des Licht- und Raumsinnes angestellt. Er kam auf Grund von Ver-

suchen an Testobjekten von verschiedener Grösse und Lichtstärke, aus wechselnder Entfernung betrachtet, zu dem Resultate, dass bei rechnerisch sehr kleinen Netzhautbildern bezw. unter 2—3 Minuten die scheinbare Grösse von der Lichtmenge abhängt (Bestätigung des Irradiationssatzes IV von Aubert) und schloss, dass es infolge der Lichtzerstreuung unmöglich erscheint ein Bild auf einen Zapfen der Netzhaut zu beschränken. Vielmehr sei an Stelle eines Bildpunktes ein Aberrationsgebiet vorhanden, dessen merklicher Teil, die Empfindungsfläche, von den Kontrastverhältnissen und der Unterschiedsempfindlichkeit abhängt.

Dieser Anschauung ist Schoute (156) entgegengetreten mit der These, dass „es gar keine Mühe erheischt ein Bild auf einen Zapfen zu bekommen" (p. 262) und „dass die Zerstreuungskreise keinen Einfluss üben bei Gegenständen, welche gleich gross, aber verschieden stark beleuchtet sind und uns jetzt durch diesen Beleuchtungsunterschied ungleichgross erscheinen". Es gebe mindestens noch acht Grössen, die man mit einem Zapfen unterscheiden kann. — Schoute abstrahierte diese Schlüsse wesentlich aus folgender interessanten Beobachtung. Er stellte sich vier objektiv gleichgrosse Objekte von verschiedener Lichtstärke her, welche — trotzdem ihre rechnerischen Bilder kleiner als ein Zapfendurchschnitt sind — noch grössenverschieden erscheinen. Dieser Eindruck bestand fort, wenn jedes der vier Objekte von je einem Ringe umgeben war, dessen rechnerisches Bild nur drei nebeneinanderstehende „ungereizte" Zapfen umschliessen würde. In diesem Falle, wo ein einzelner Zapfen verschieden stark gereizt würde, sollen wir einer Urteilstäuschung verfallen, indem Beleuchtungsunterschiede durch unser Urteil als Grössenunterschiede gedeutet würden (p. 255, 258, 259).

Das von Schoute selbst (p. 257) beobachtete Verschiedengrosserscheinen der objektiv gleichgrossen Ringe (bei objektiv gleichbleibender Grösse und verschiedener Lichtstärke der eingeschlossenen Objekte) und das Gleicherscheinen des objektiv unveränderten Abstandes zwischen Objekt und Ring weist m. E. jedoch auf eine ganz andere Erklärung des ganzen Phänomens hin, als sie Schoute ableitet. Setzt man mit Volkmann u. a. — wofür sehr zahlreiche Gründe sprechen — im Auge eine Abbildung in Zerstreuungskreisen voraus und berücksichtigt gleichzeitig die korrektive Bedeutung des Kontrastes, auf welche Schoute keinen Bezug nimmt, so werden die einzelnen Erscheinungen ohne weiteres verständlich. Bei Wahl eines objektiv lichtstärkeren Objektes wird nach dieser Voraussetzung das „wirksame" Aberrationsgebiet des Objektbildes grösser — der die Grenze bildende Kontrastsaum rückt hinaus. Infolge des Wachsens der Schwarzinduktion mit der Verstärkung des induzierenden Reizes wird nun auch eine mehr exzentrische Zone vom Aberrationsgebiete des Ringbildes „wirksam". Objekt und Ring erscheinen grösser, der schwarze Zwischenraum gleich.

Die von Volkmann, Aubert, Hering und Asher vertretene Lehre von der Unmöglichkeit objektiver Einzapfenbilder und von der Grössenbestimmung durch die Zahl der wirksam gereizten, der Empfindungsfläche entsprechenden Zapfen erscheint mir demnach als zu Recht bestehend. — Es ist hier nicht der Ort, auf das Problem der Sehgrösse und des subjektiven Massstabes im Sehfelde, also auf den sog. Grössensinn der Netzhaut einzugehen.

IX. Die biologische Bedeutung des Kontrastes.

Die Bedeutung des Kontrastes für die Nutzleistung unseres Sehorgans wurde zwar schon in der Einleitung angedeutet, sie erhellt auch aus den Darlegungen über die Phänomene der Irradiation. Doch mag die Wichtigkeit des Gegenstandes, der mir vielfach noch nicht genügend gewürdigt erscheint, zum Schlusse eine zusammenfassende Charakterisierung des Problems rechtfertigen. Dieselbe fusst auf den klassischen Darstellungen von Mach[1]) (111, bes. p. 315.; über das Verhältnis von „Lichtfläche" und „Empfindungsfläche" [112, 113, 114]) und speziell von Hering (70, § 32, 73) über die Bedeutung des Kontrastes als eines Faktors, der das im Auge diffus zerstreute Licht sowie das in geringerem Grade von den regelmässigen Bahnen „aberrierende" Licht, nämlich den jedes Netzhautbild umgebenden objektiven Randschein, mehr oder weniger „unschädlich" macht[2]) — Bei der gewöhnlichen Betrachtungsweise bringen überdies die steten kleinen Blickschwankungen das Bild im nächsten Moment auf solche Netzhautstellen, welche zuvor unter Kontrastwirkung standen und daher erhöhte Erregbarkeit besitzen. Dieses bedeutsame Moment hat erst Hering (70, § 32, vgl. bereits Kap. III) erkannt und mit den Worten hervorgehoben: „Wie auch das Bild eines hellen Objektes auf der Netzhaut wandert, immer trifft es die Stelle, auf welche es übertritt, gleichsam zu seinem Empfange vorbereitet."

Der Lichtreiz veranlasst nach der hier vertretenen Anschauung zweierlei Erregungen, eine primäre am Reizorte, eine sekundäre in dessen Umgebung. Infolge der Abbildungsfehler des reizverteilenden oder dioptrischen Apparates trifft der von einem Aussenpunkt ausgehende Lichtreiz nicht bloss eines der Mosaikelemente unseres Sehorgans, sondern stets deren mehrere. Infolge-

---

[1]) „Man könnte sagen, die Netzhaut schematisiert und karrikiert. Die teleologische Bedeutung dieses Prozesses ist für sich klar. Er ist ein Analogon der Abstraktion und der Begriffsbildung" (Mach, 114, p. 19).

[2]) „Durch die Steigerung der Assimilierung an den nicht vom Bilde der hellen Objekte getroffenen Stellen wird nun für gewöhnlich verhütet, dass das zerstreute Licht wahrgenommen wird. . . . Das zerstreute Licht wird also innerhalb gewisser Grenzen unschädlich gemacht, das helle Netzhautbild bekommt scharfe Umrisse und wird durch die Verdunkelung des Grundes stärker gehoben" (Hering, 70, § 32).

dessen erfahren diese zugleich eine primäre, exogene Erregung durch Licht und eine sekundäre, endogene Erregung durch ihre Wechselwirkung auf einander. Diese findet präterminal statt d. h. nicht in der psychophysischen Sphäre, auch sicher nicht ausschliesslich in der Netzhaut, wenn auch vorwiegend in dem Gebiete mit Sonderung der beiden Sehorganhälften. — Die beiden Erregungen verhalten sich aber gegensätzlich d. h. sie vermögen sich nicht beide zugleich bis in die psychophysische Sphäre auszubreiten und sich dort durch Empfindungen zu äussern. Es findet eine Kompensation oder Subtraktion der beiden Erregungsarten statt: präterminaler Antagonismus. Das dauernde, endogene Eigengrau wird entweder auf direktem Wege erhellt oder auf indirektem Wege verdunkelt, entweder um Rot oder um Grün, Gelb oder Blau bereichert — sei es auf direktem oder auf indirektem Wege.

Infolgedessen geht mit der Weisserregung eines Elementes eine Minderung der physikalisch bedingten Miterregung seiner Nachbarn, ja günstigenfalls eine Schwarzerregung derselben einher. Dieser Kontrasteffekt leistet also dasselbe, als ob in Wirklichkeit die diffuse Lichtreizung auf ein Element eingeschränkt würde, ja durch die Verdunkelung des Eigengraus leistet er geradezu noch mehr. Nicht bloss bezüglich der Flächenbreitung der Erregung, sondern auch bezüglich deren Grösse ist der Kontrast einer objektiven Änderung des Lichtreizes, speziell einer Minderung oder Mehrung von dessen Intensität völlig gleichwertig. — Ebenso wie die farblose Kontrastwirkung oder Schwarzinduktion die Wirkung des zerstreuten farblosen Lichtes bezw. die Weissvalenz bei zerstreutem farbigen Lichte kompensiert, so kompensiert die farbige Kontrastwirkung den farbigen Effekt, die farbige Valenz bei zerstreutem farbigen Lichte. Dank der Kontrastwirkung erscheint also die Umgebung eines beobachtenden Objekts auf „lichtlosem“ Grunde farblos und schwarz.

Der Kontrast ersetzt demnach günstigenfalls den physikalischen Astigmatismus durch eine physiologische, funktionale Stigmatik. Er vermittelt trotz unscharfer Reizverteilung, trotz eines diffusen Anfangseffektes nach Elementengruppen einen distinkten, lokalen Endeffekt nach Einzelelementen. Das Kontrastschwarz verdeckt sozusagen die diffuse Mitbelichtung des Grundes und die Beugungsringe um das Reizzentrum, es beschränkt die Fläche der astigmatischen Abbildung, der Enkaustik und Chromasie sowie der Beugungsaureole. Das nachstehende, hier wiederholte Schema (Fig. 2) möge dieses Verhalten veranschaulichen. (Im Zentralelement ist die Kontrastsubtraktion, in der Umgebung der Plusrest an Kontrastschwarz der Übersichtlichkeit halber nicht besonders angedeutet. Auch sei durch die schematische Andeutung der Kontrastwirkung in der Mitte der Sehleitung nichts bezüglich des näheren Ortes präjudiziert.)

Bei Abbildung von begrenzten Flächen, z. B. einer hellen Scheibe auf lichtlosem Grunde, engen das Schwarz des Umgebungskontrastes und das Rand-Minus des Binnenkontrastes von beiden Seiten her das Aberrationsgebiet ein und schaffen in Verein mit der beschränkten Unterschiedsempfindlichkeit, für welche so erst günstige Bedingungen gegeben werden, die Konturen im subjektiven Anschauungsbilde. Im objektiven Netzhautbilde gibt es nur verwaschene Randsäume. Ja es ist wohl keine Übertreibung zu sagen, dass wir ohne Kontrastwirkung nicht zu lesen vermöchten. Der Kontrast wirkt in dieser seiner Rolle dauernd und notwendig, nicht bloss als inter-

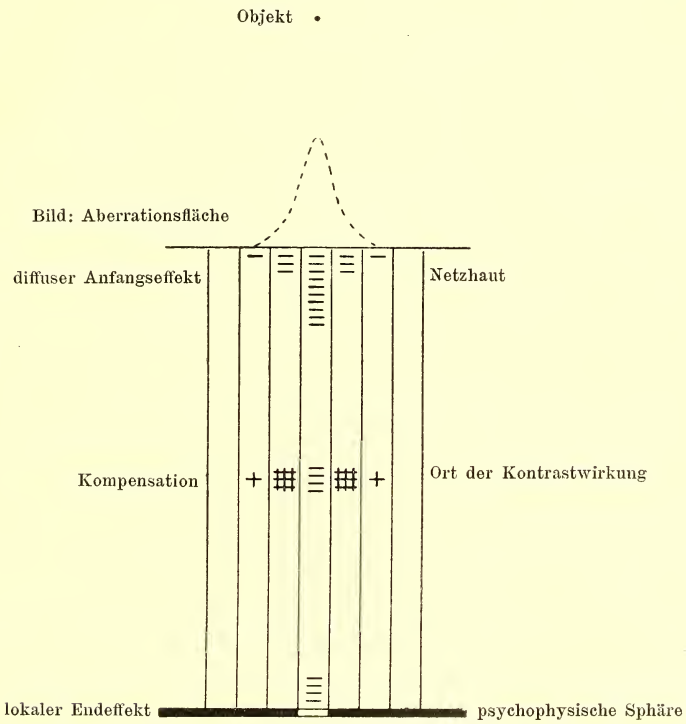

Fig. 2.

essantes Gelegenheitsphänomen nur gerade in denjenigen Fällen, in denen wir ihn dank spezieller Anordnungen besonders augenfällig machen. — Das Gesagte sei in folgendem Schema graphisch zusammengefasst, welches zugleich die Wirkung des Binnenkontrastes innerhalb des Scheibenbildes widergibt.

Als physiologisches Korrektivmittel gegenüber der „unvermeidlichen" Unvollkommenheit der Reizverteilung oder Bilderzeugung im Auge gewinnt der Kontrast eine eminente biologische Bedeutung (vgl. Tschermak [169], p. 8). Dies gilt auch für die anderen Sinnesgebiete, welche Simultankontrast zwichen den Mosaikelementen und präterminalen Antagonismus, Kompensation gewisser Erregungsarten

aufweisen. — Man kann vom Standpunkte der Erkenntnistheorie sagen, dass wesentlich durch den Kontrast das Empfindungssubstrat geschaffen wird für

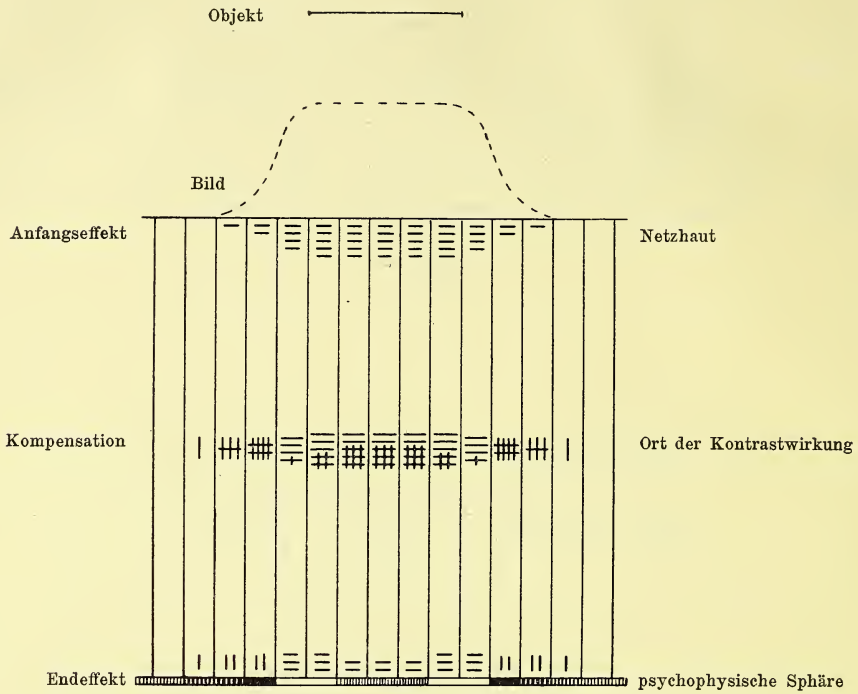

Fig. 3.

den mathematischen Begriff des Nichtdimensionalen und des Eindimensionalen, des Punktes und der Linie.

Ich glaube, ein moderner Sinnesphysiologe würde einem Mechaniker, der ihm einen so schlechten dioptrischen Apparat brächte wie das menschliche Auge, doch nicht die Türe weisen. Mindestens würde er ihn sofort zurückrufen, wenn er bemerkt, dass das schlechte Instrument dafür die Eigenschaft des Simultankontrastes und der Adaptation besitzt.